









Die

magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen

ihre Construction und praktische Anwendung

zur

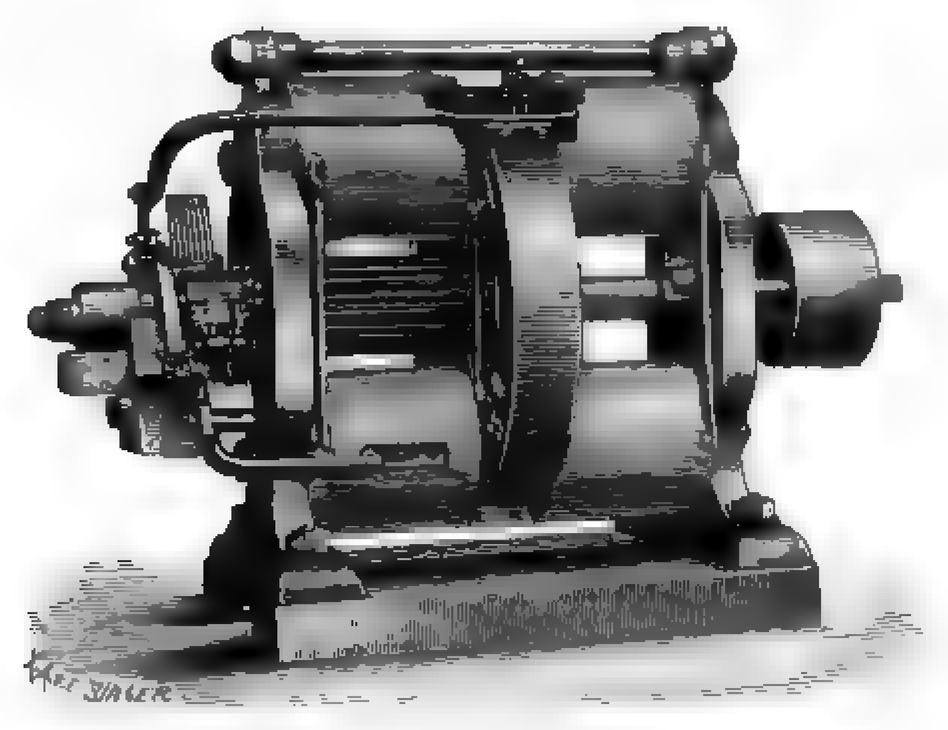
elektrischen Beleuchtung und Kraftübertragung.

Dargestellt

von

Dr. H. Schellen,

Director der Realschule I. O. zu Köln a. D., Ritter des Rothen Adler-Ordens III. Cl. mit der Schleife, des Königl. Haus-Ordens von Hohenzollern, des Russischen St. Annen-Ordens III. Cl., des K. K. Oesterreichischen Franz Joseph-Ordens und des Ordens der Italienischen Krone.

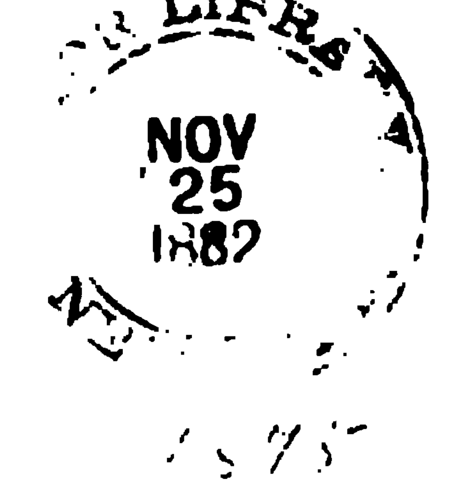


Mit 221 in den Text eingedruckten Abbildungen.

Zweite, nach dem gegenwärtigen auf der Pariser elektrischen Ausstellung vertretenen Zustande dargestellte und vermehrte Auflage.

Köln, 1882.
Verlag der M. DuMont-Schauberg'schen Buchhandlung.

Druck von M. DuMont-Schauberg in Köln.



Vorwort.

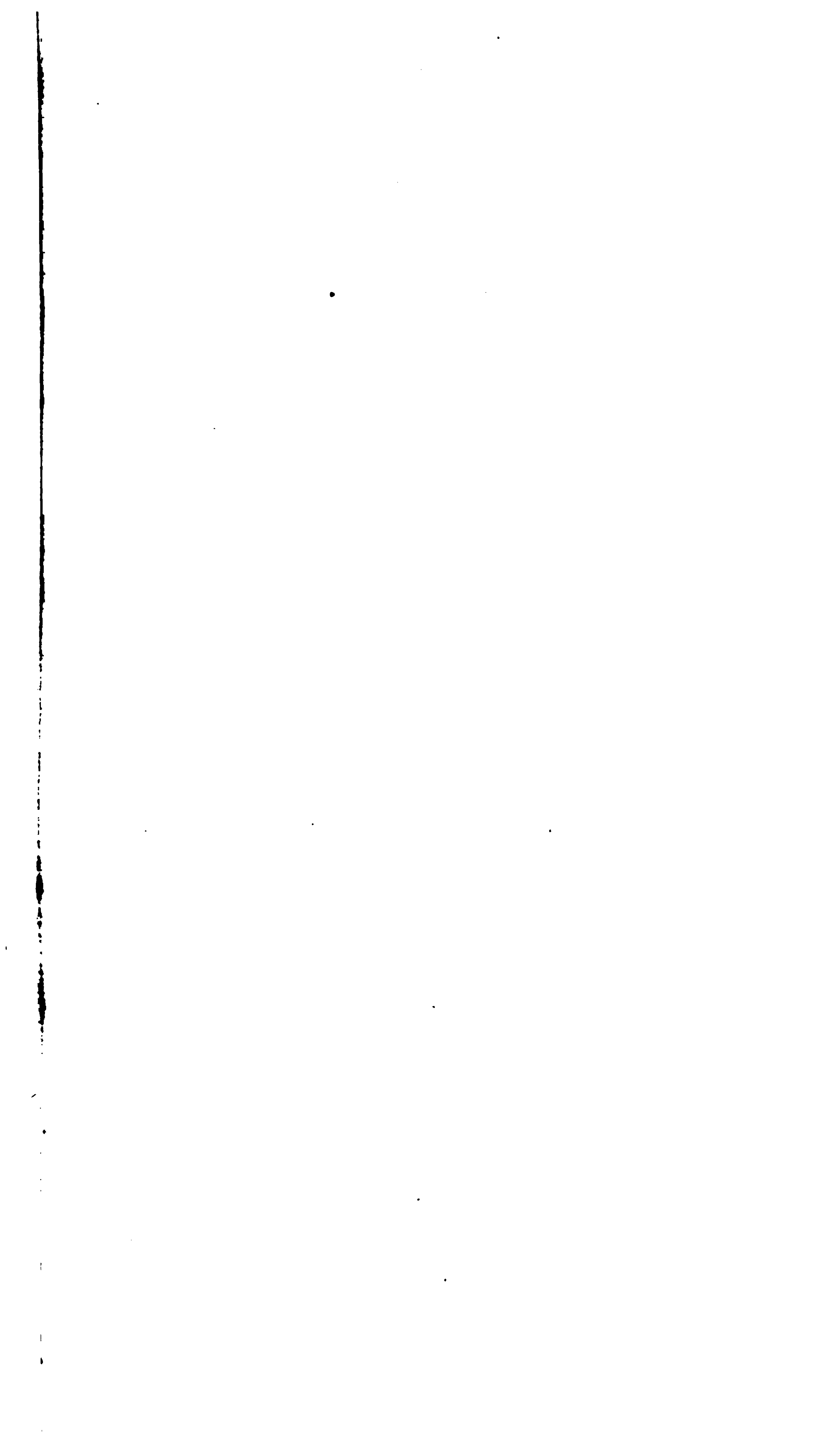
Die dynamo-elektrischen Maschinen, deren Construction und praktische Anwendung für die Zwecke der elektrischen Beleuchtung, der Galvanoplastik und der Kraftübertragung den Hauptgegenstand dieser Schrift bilden, traten auf der Pariser Weltausstellung im Jahre 1867 zuerst vor das grosse Publicum, nachdem kurz zuvor *Dr. Werner Siemens* in Berlin das Princip, auf welchem sie beruhen, entdeckt und zur Construction der ersten Maschine dieser Art angewandt hatte.

Das elektrische Kohlenlicht war schon im Jahre 1813 durch *Davy* dargestellt worden; aber dieser Gelehrte hatte dazu eine riesige Batterie von 2000 Elementen gebraucht; an eine praktische Anwendung dieses intensiven Lichtes konnte daher so lange nicht gedacht werden, bis man es verstand, weit kräftigere Elemente herzustellen, als diejenigen waren, deren sich *Davy* bedient hatte. Als dieses gelungen war, trat das elektrische Licht mehr und mehr aus den Räumen der physicalischen Cabinette hervor und wurde von da ab vielfach zu grossen Lichteffecten und brillanten Schaudarstellungen angewandt.

Seit der Entdeckung der galvanischen und magnetischen Induction durch *Faraday* (1831) war man unablässig bemüht, die galvanischen Ströme durch die Bewegung von Magneten gegen Drahtrollen oder umgekehrt zu erzeugen und die lästigen Batterien durch Magnetmaschinen zu ersetzen.

*







Die

magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen

ihre Construction und praktische Anwendung

zur

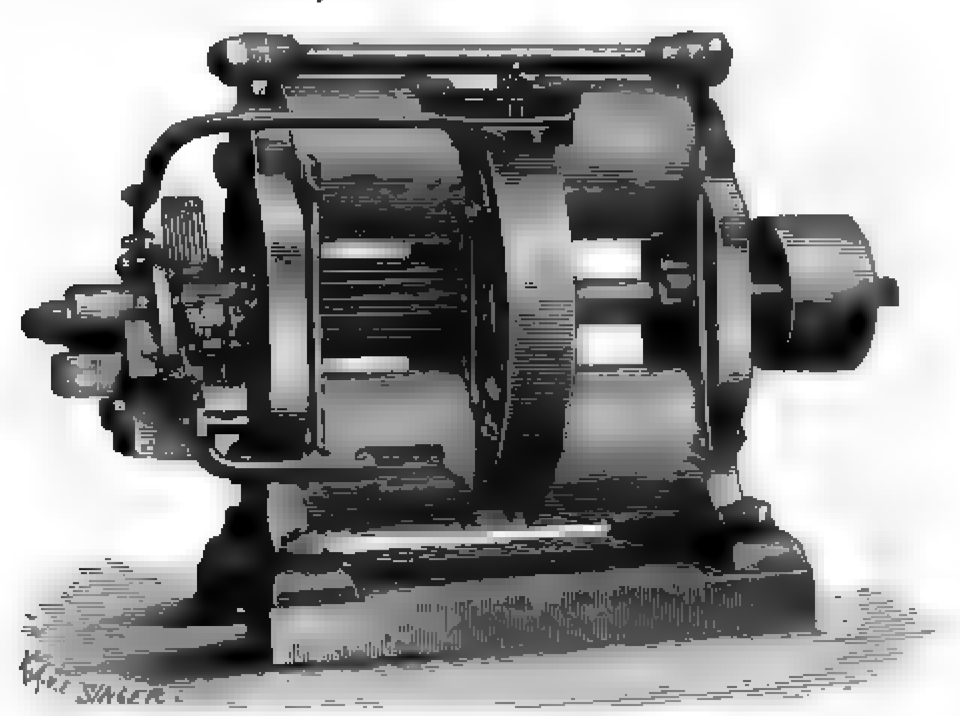
elektrischen Beleuchtung und Kraftübertragung.

Dargestellt

von

Dr. H. Schellen,

Director der Realschule I. O. zu Köln a. D., Ritter des Rothen Adler-Ordens III. Cl. mit der Schleife, des Königl. Haus-Ordens von Hohenzollern, des Russischen St. Annen-Ordens III. Cl., des K. K. Oesterreichischen Franz Joseph-Ordens und des Ordens der Italienischen Krone.



Mit 221 in den Text eingedruckten Abbildungen.

Zweite, nach dem gegenwärtigen auf der Pariser elektrischen Ausstellung vertretenen Zustande dargestellte und vermehrte Auflage.

Köln, 1882.

Verlag der M. DuMont-Schauberg'schen Buchhandlung.

Druck von M. DuMont-Schauberg in Köln

Seite

44. Die dynamo-elektrische Maschine für Rein-Metallgewinnung von *Siemens* und *Halske* 197
45. Die Lichtmaschine von *Weston* (*H. G. Möhring*) 197
46. Die *Maxim*'sche Maschine 204
47. Die magnet-elektrische Maschine von *Niaudet* 206
48. Die Lichtmaschine von *Wallace-Farmer* 209
49. Die magnet- und dynamo-elektrische Maschine von *Lontin* ... 212
50. Die elektrodynamische Maschine von *Bürgin* 215
51. Die neueste dynamo-elektrische Maschine *v. Hefner-Alteneck's* für continuirliche Ströme 219

V. Abtheilung.

Die neueren Wechselstrom-Maschinen. Maschinen zur Erzeugung mehrerer Partialströme.

52. *Lontin's* Wechselstrom-Maschine 228
53. Die *Gramme*'sche Maschine für Wechselströme 233
54. *Siemens-Halske's* dynamo-elektrische Maschine zur Erzeugung von intermittirenden gleichgerichteten oder Wechselströmen in einem oder mehreren Stromkreisen 242

VI. Abtheilung.

Versuche mit dynamo-elektrischen Maschinen und theoretische Folgerungen aus denselben von Dr. O. Frölich 251

55. Gleichung des dynamo-elektrischen Gleichgewichts 252
56. Prüfung der Gleichgewichtsgleichung 254
57. Versuche *Hagenbach's* 260
58. Versuche *Meyer's* & *Auerbach's* 264
59. Schlussfolgerungen *Frölich's* 266
60. Der wirksame Magnetismus 267
61. Die Arbeitskraft der dynamo-elektrischen Maschine 275

VII. Abtheilung.

Der Volta'sche Lichtbogen und seine Lichtstärke; Beschaffenheit der Kohlenstäbe.

62. Der *Volta*'sche Lichtbogen 278
63. Das Bild des Lichtbogens 280
64. Die Temperatur des Lichtbogens und der Kohlen 282
65. Die Länge des Lichtbogens 283
66. Widerstand und elektromotorische Kraft des Lichtbogens 284

Seite
67. Spannung des Stromes 292
68. Lichteinheiten 294
69. Photometrische Messungen 297
70. Beschaffenheit und Fabrication der Kohlenstäbe 309
71. Verhältniss von Lichtstärke und Arbeitsverbrauch 319
72. Vergleichende Versuche mit verschiedenen Lichtmaschinen 331

VIII. Abtheilung.

Die elektrischen Lampen mit Lichtbogen (zur Verwendung bei Einzel-Lichtern).

73. Die elektrische Lampe von *Foucault* und *Duboscq* 347
74. Die elektrische Lampe von *Serrin* 354
75. Die *Crompton*'sche Lampe 362
76. Die Lampe von *E. Bürgin* 367
77. Die *Siemens-Halske*'sche Lampe (System *v. Hefner-Alteneck*) 369
78. Die Lampe von *J. Jaspar* 376
79. Die Lampe von *C. Dornfeld* 380
80. Die Nebenlampen von *Siemens-Halske* und *Schuckert* 385

IX. Abtheilung.

Die Theilung des elektrischen Lichtes. Nebenschluss- und Differential-Lampen. Lampen zur Parallelschaltung.

81. Versuche, das elektrische Licht zu theilen 390
82. Die ersten Anwendungen der Stromverzweigung in der elektrischen Beleuchtung 395
83. Die Nebenschlusslampe von *Serrin-Lontin* 400
84. Die *Crompton*'sche Lampe 401
85. Die *Bürgin*'sche Lampe 403
86. Die Lampe von *Mersanne* 405
87. Die Lampe von *Fontaine* 406
88. Die elektrische Lampe für getheiltes Licht von *Gramme* 409
89. Die *Weston-Möhring*'sche Lampe 412
90. Die *Brush*'sche Lampe 415
91. Die *Siemens-Halske*'sche Differential-Lampe (System *v. Hefner-Alteneck*) 421
92. Die *Tchikoleff*'sche Lampe 429
93. Die *Schuckert*'sche Differential-Ringlampe 431
94. Die *Krizik-Piette*'sche Differential-Lampe 433
95. Die elektrische Lampe von *Gülcher* 436
96. *Brockie's* elektrische Lampe 443

X. Abtheilung.

Elektrische Kerzen von Jablochkoff und Jamin. Diverse Lampen.

Seite

97. Die *Jablochkoff*'sche Kerze 445
98. Die elektrische Kerze von *Jamin* 450
99. *Andrew's* elektrische Lampe 457
100. Diverse Lampen (*Staite* und *Edwards*, *Rapieff*, *Heinrichs*) . . 458

XI. Abtheilung.

Die Incandescenz-Beleuchtung. (Glühlicht-Lampen.) Versuche mit Inductionsrollen.

A. Glühlichter mit unvollkommenem Contacte . . . 460

101. Die Glühlicht-Lampe von *Reynier* 462
102. Die Glühlicht-Lampe von *Werdermann* 466
103. Die *Joël*'sche Hängelampe 467

B. Glühlichter mit unvollkommener Leitungsfähigkeit oder mit grossem Widerstande 470

104. Das Glühen der Körper 470
105. Die Lampen von *Lontin*, *King* und *Lodyguine*, *Konn* und *Bouliguine* 472
106. Die Glühlicht-Lampe von *Edison* 476
107. Die *Swan*'sche Lampe 483
108. *Maxim's* Lampe 485
109. Die Lampen von *Lane Fox* und *Sawyer* 486

C. Glühlicht, welches mittelst Inductionsrollen gewonnen wird 488

110. Versuche *Jablochkoff's* und *Varley's* 488

XII. Abtheilung.

Betriebs- und Regulir-Apparate.

111. Vergleichung der magnet-elektrischen und der dynamo-elektrischen Lichtmaschinen 492
112. Motoren, Kabel und Bürsten 497
113. Selbstthätiger Umschalter von *Siemens & Halske* 501
114. Umschalter nach *Sawyer* 503
115. Die Regulirung des Stromes 507
116. Die Verbindung der Maschinen 509

XIII. Abtheilung.

Die elektrische Beleuchtung.

Seite

117. Einzel-Lichter oder getheiltes Licht 514
118. Die Anwendung der elektrischen Beleuchtung 518
119. Die Vorzüge des elektrischen Lichtes 546
120. Die Kosten des elektrischen Lichtes 554
121. Die Gefährlichkeit des elektrischen Lichtes 571

XIV. Abtheilung.

Verschiedene Anwendungen der magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen. Anwendung zu galvanoplastischen Zwecken.

122. Anwendung der Handmaschinen 574
123. Anwendung zum Schmelzen von Stahl, Eisen u. s. w. 576
124. Anwendungen der dynamo-elektrischen Maschinen zu chemischen Zwecken 577
125. Verwerthung für telegraphische Zwecke 587

XV. Abtheilung.

Die elektrische Uebertragung der Kraft.

126. Allgemeines 590
127. Anwendungen 599
128. Die elektrische Eisenbahn 603
129. Die elektrischen Hochbahnen und die elektrische Post 610
130. Der elektrische Aufzug 612
131. Sonstige Anwendungen 617

XVI. Abtheilung.

Die secundären Elemente.

132. Allgemeines 620
133. *Planté's* Element 621
134. *Faure's* Element 629
135. Anwendungen der Elemente 631

XVII. Abtheilung.

Mathematische Entwicklungen. 633

Berichtigungen.

Seite	53,	Zeile	6	von	unten	liess:	*Ohm, Volt, Weber.*
„	265,	„	10	„	oben	„	*Mayer* und *Auerbach.*
„	285,	„	1	„	unten	„	Bd. CXXXIII und CXXXIV.
„	289,	„	1	„	unten	„	0,0974 *Weber* und 0,093 *Volt.*
„	608,	„	4	„	unten	„	..stande der...

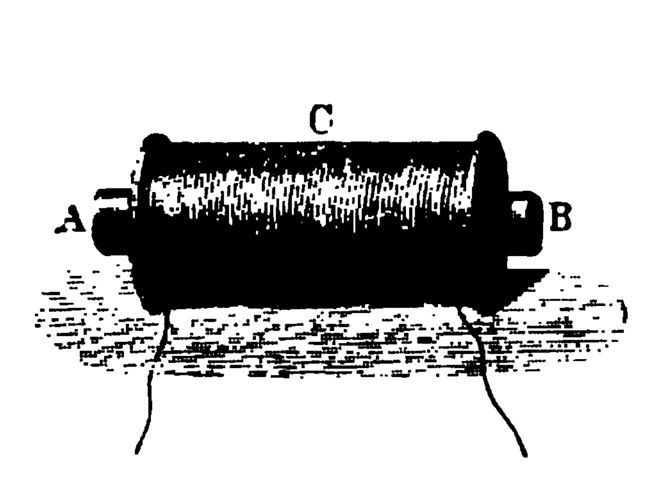
I. Abtheilung.

Physikalische Vorbegriffe.

1. Der Elektromagnet. Ein Stab *AB* (Fig. 1) von weichem Eisen hat die Eigenschaft, dass er ein Magnet wird, wenn ein galvanischer Strom durch einen Draht *C* senkrecht zu seiner Längerichtung ihn umkreist.

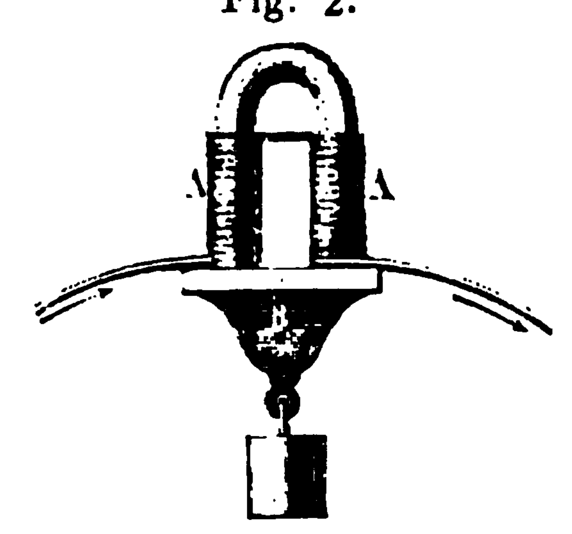
In der Praxis gibt man dem weichen Eisen meist die Form eines Hufeisens *A A* (Fig. 2) mit cylindrisch oder

Fig. 1.



Der Elektromagnet.

Fig. 2.



Elektromagnet mit Anker.

plattenförmig gestalteten Schenkeln, und umwickelt dasselbe in spiralförmigen Windungen möglichst senkrecht zu dem Eisenkerne mit isolirtem, d. h. mit Seide oder Baumwolle umsponnenem Kupferdrahte derart, dass die Windungen eine und dieselbe Richtung auf beiden Schenkeln des Hufeisens haben, wenn man sich dasselbe gerade gestreckt denkt. Verbindet man die Enden des Umwindungsdrahtes mit den Polen einer galvanischen Batterie, so zeigt das Eisen in dem Augenblicke des Schliessens der Batterie und während der

Dauer des Stromes einen kräftigen Magnetismus. Das eine Ende des Eisenkerns wird ein magnetischer Nordpol, das andere ein Südpol; die ganze Vorrichtung *A A* wird ein Elektromagnet, und dasjenige Stück Eisen *B*, welches von den Polen angezogen wird, Anker genannt.

Zur Bestimmung der Polarität der beiden Schenkel dient folgende Regel: Man denke sich in dem von dem positiven Strome durchflossenen und senkrecht gegen den Eisenkern gewundenen Drahte schwimmend, so dass der Strom an den Füssen ein- und am Kopfe austritt, und dass das Gesicht dem Eisenkerne zugekehrt ist; es entsteht dann in allen Fällen zur linken Hand ein Nordpol.

Oder auch: Man denkt sich dasjenige Ende des Elektromagnets, dessen Polarität man bestimmen will, dem Beschauer zugewandt; wenn dann auf diesem Ende der positive Strom die Richtung eines Uhrzeigers hat, so ist dasselbe ein Südpol, im andern Falle ist es ein Nordpol.

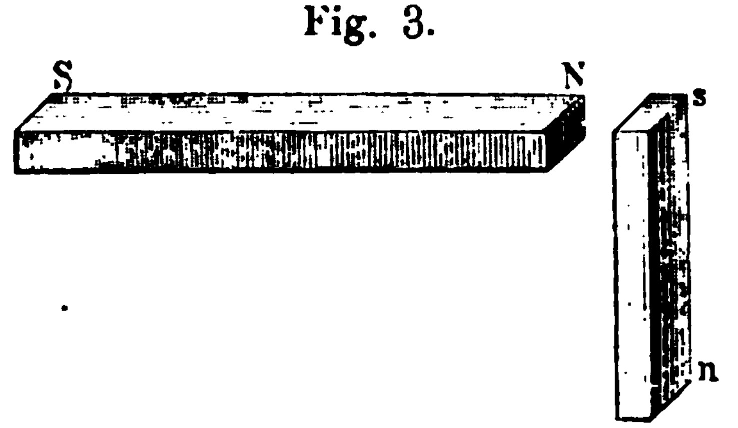
Die Stärke des in dem weichen Eisen entwickelten Magnetismus hängt theils von der Masse des Eisens, theils von der Anzahl der Umwindungen des Drahtes, theils von der Stärke des galvanischen Stromes ab. Der durch den Strom in dem weichen Eisen erregte Magnetismus dauert nur so lange, als der Strom dauert. Wenn dieser durch die Unterbrechung des Schliessungsdrahtes aufhört zu circuliren, verliert auch das Eisen sofort seinen Magnetismus, nimmt jedoch denselben eben so schnell wieder an, wenn der Strom von Neuem beginnt, den Umwindungsdraht zu durchlaufen. Durch eine rasche Folge von Unterbrechungen und Wiederherstellungen des Stromes, also durch rasch hintereinander folgendes öfteres Oeffnen und Schliessen der Batterie, kann man daher dasselbe Stück weichen Eisens in sehr kurzer Zeit mehreremal magnetisch und wieder

unmagnetisch machen. Ausserdem kann man in einem und demselben Schenkel in kurzer Zeit sehr oft die Polarität wechseln, so dass derselbe rasch hintereinander bald ein Nordpol, bald ein Südpol wird; es ist dazu nur erforderlich, den positiven Strom bald in der einen, bald in der entgegengesetzten Richtung durch die Drahtwindungen zu leiten.

Je reiner und weicher das Eisen ist, desto vollständiger erhält und verliert der Eisenkern beim Durchleiten und Unterbrechen des Stromes, also beim Schliessen und Oeffnen der Batterie, seinen Magnetismus. Immerhin ist aber eine gewisse, wenn auch sehr kleine Zeit erforderlich, bis der Magnetismus sich in seiner ganzen Stärke entwickelt hat, wie andererseits Zeit dazu erforderlich ist, bis derselbe wieder ganz verschwunden ist. Die Erfahrung lehrt ferner, dass bei der Unterbrechung des Stromes nicht der ganze Magnetismus aus dem Eisenkerne verschwindet, sondern je nach Umständen mehr oder weniger davon in demselben zurückbleibt; man nennt diesen, nach Unterbrechung des Stromes in den Schenkeln des Elektromagnets zurückbleibenden Magnetismus den remanenten Magnetismus.

2. Einwirkung eines Magnets auf weiches Eisen. (Magnetische Vertheilung oder magnetische Influenz.) Bringt man, wie in Figur 3, ein Stück weiches Eisen *sn* in die Nähe

Fig. 3.



Magnetische Vertheilung.

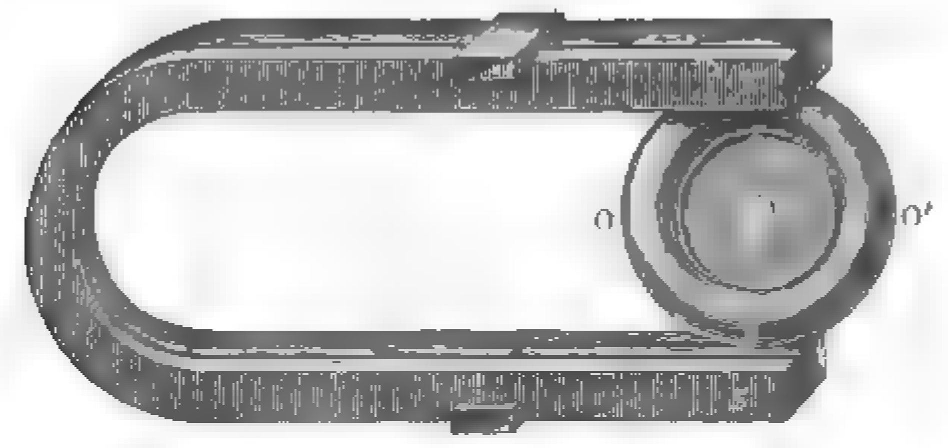
eines Magnetpols *N*, so wird ersteres unter dem Einflusse des Magnets *S N* selbst magnetisch, und zwar erhält dasjenige Ende *s* des weichen Eisens, welches dem Magnetpole am nächsten ist, einen entgegengesetzten, das abgekehrte

Ende einen gleichnamigen Pol. Man nennt diese Erscheinung die **magnetische Vertheilung oder Influenz.**[1]) Das weiche Eisen behält jedoch seine Polarität nur so lange, als es unter dem Einflusse des inducirenden Magnets bleibt; entfernt man es aus dem Felde der magnetischen Kraft, so verliert es den inducirten Magnetismus wieder um so schneller und vollständiger, je reiner und weicher das Eisen ist.

Führt man den Eisenstab *sn* an dem Nordpole *N* des Magnets vorbei, so verschiebt sich der Südpol *s* des Stabes; in dem Maasse, als dieser höher hinaufrückt und sich *s* von *N* entfernt, rückt auch der Südpol *s* nach unten, und schliesslich wird das untere Ende, das früher ein Nordpol war, ein Südpol, wenn dasselbe dem inducirenden Pole N näher steht als das obere Ende.

Befindet sich, wie in Figur 4, zwischen den Polen *N* und *S* eines Hufeisenmagnets ein Ring von weichem Eisen,

Fig. 4.



Verschiebung der Pole in einem rotirenden Ringe.

der sich um seine Achse drehen lässt, so entstehen in der Ruhelage des Ringes unterhalb der Pole *N* und *S* in dem Ringe selbst durch Influenz die neuen Pole *s* und *n*, während in den um 90° davon entfernten Stellen *O* und *O′* sich die **Indifferenzpuncte** oder die **neutralen Puncte** be-

---

[1]) Den Ausdruck „magnetische Induction“ oder „Magnet-Induction“ werden wir bloss auf den Fall der durch einen Magnet inducirten galvanischen Ströme anwenden.

finden, in denen die magnetische Kraft Null ist. Dreht man nun von links nach rechts den Ring langsam um seine Achse, so rücken in der Richtung der Drehung immer neue Eisentheile des Ringes unter die Pole *N* und *S*, welche bei der Annäherung an *N* und *S* die magnetische Polarität annehmen und bei der Entfernung von *N* und *S* dieselbe wieder verlieren, so dass die inducirten Pole *s* und *n* ihre Stelle im Raume unter den inducirenden Polen *N* und *S* behalten, wogegen stets neue Theile des Ringes in diese Stelle einrücken. Bei jeder ganzen Umdrehung haben alle Theile des Ringes, von *O* aus gerechnet, nach der Reihe zuerst den Südmagnetismus angenommen, dann diesen Magnetismus wieder verloren, darauf den Nordmagnetismus angenommen, und endlich auch diesen wieder verloren; in irgend einem bestimmten Augenblicke haben die Endpuncte eines bestimmten Durchmessers des Ringes bestimmte Pole, und nach einer weiteren halben Umdrehung des Ringes haben sie die entgegengesetzten Pole. Wie die Pole *s* und *n* während der Drehung ihre Stellen im Raume beibehalten, so bleibt auch die neutrale Linie OO' immer an derselben Stelle.

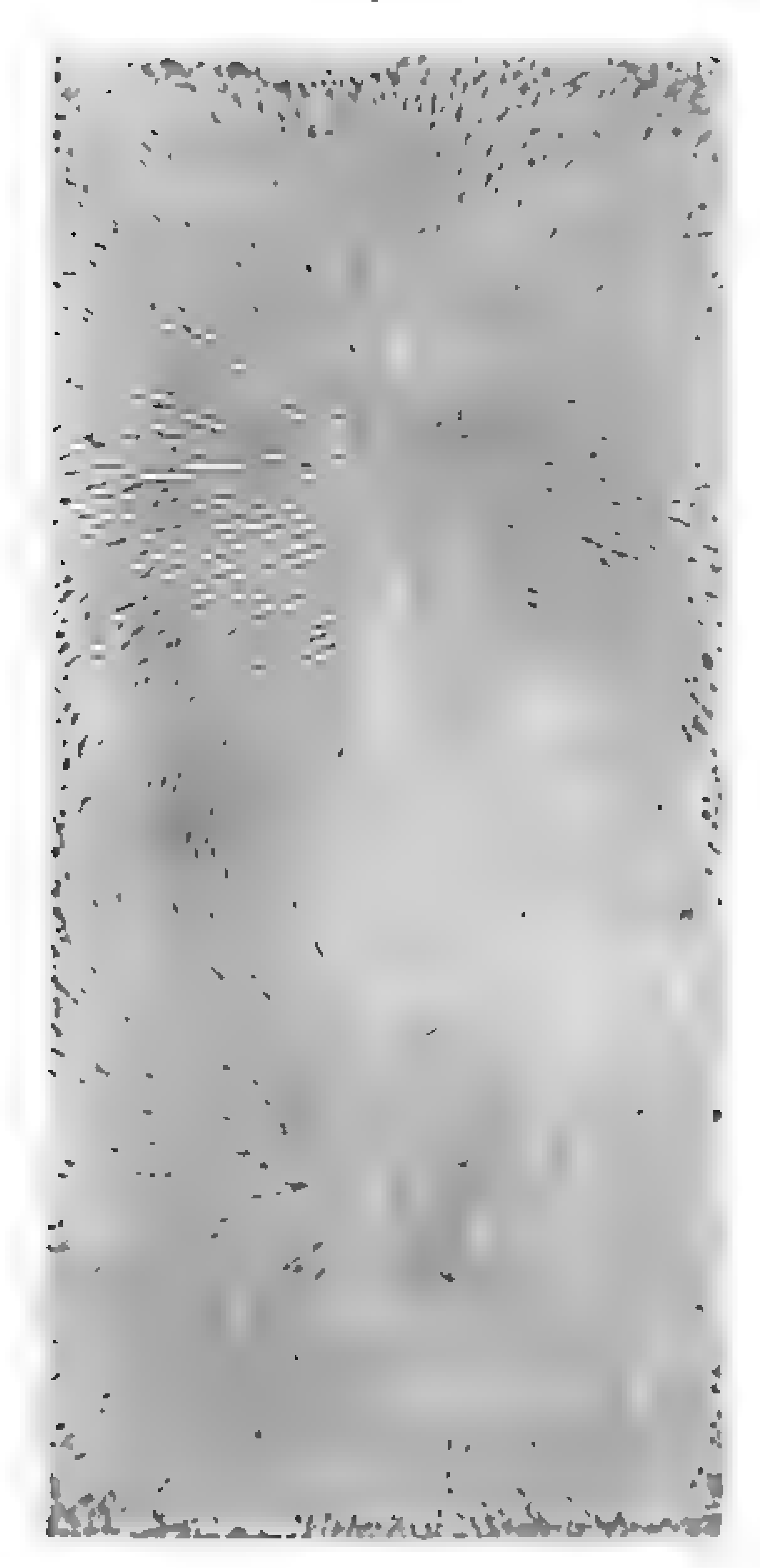
Etwas anders gestaltet sich die Sache, wenn man dem Ringe eine schnelle Rotation gibt. Es verschwindet nämlich der inducirte Magnetismus aus den Ringtheilen nicht sofort, wenn diese sich von den Polen *N* und *S* entfernen. Während in einem bestimmten Theile des Ringes von dem Indifferenzpuncte *O* aus bis zum nächsten Pole *N* eine sehr schnelle Zunahme der Intensität des inducirten Magnetismus Statt findet und das magnetische Maximum dieses Theiles unter *N* eintritt, nimmt in Folge der magnetischen Trägheit dieses Maximum von *s* nach O' hin nicht so schnell ab, vielmehr bleibt die magnetische Intensität von *s* ab in der Richtung auf O' hin eine Strecke lang nahezu constant und nimmt dann in einiger Entfernung von *s* bis zum Indifferenzpuncte O', der ebenfalls in der Richtung der Bewegung

nach *n* hin vorrückt, langsam ab. Von diesem Nullpuncte an bis zum nächsten Pole *n* findet dann wieder eine sehr schnelle Zunahme der magnetischen Intensität statt, worauf wieder in *n* ein Maximum folgt, das sich eine Strecke über *n* hinaus nahezu constant erhält, um dann langsam bis auf Null herabzusinken. Man sieht hieraus, dass das Maximum des inducirten Magnetismus nicht in zwei Puncten des Eisenringes liegt, sondern über eine gewisse Strecke ausgebreitet ist, und dass sich von *s* nach *O'* und wieder von *n* nach *O* hin so zu sagen zwei verlängerte Pole bilden. In Folge hiervon liegt denn auch die Indifferenzlinie *O O'* nicht genau um 90° von den Polen *N* und *S*, sondern in der Richtung der Drehung von *N* aus gerechnet in einem etwas grösseren Winkel als. 90° entfernt.

3. Das magnetische Feld; die magnetischen Kraftlinien. Die Wirkung eines Magnets nach aussen hängt von mancherlei Umständen ab, erstreckt sich aber je nach der Stärke der Magnetisirung und der Form des Magnets nach allen Richtungen in verschiedener Intensität auf eine gewisse Entfernung von demselben. Man nennt dieses Feld der magnetischen Wirkungsfähigkeit eines Magnetpols die Wirkungssphäre des Poles, auch wohl einfach das magnetische Feld, obwohl strenge genommen der letztere Ausdruck etwas anderes bezeichnet.

Die in §. 2 erläuterte Influenz erfolgt nur, wenn der Stab *s n* (Fig. 3) sich in dem magnetischen Felde des inducirenden Magnets *S N* befindet. Uebertrifft dabei die magnetische Anziehung das Gewicht des Stabes *s n*, und ist dieser frei beweglich, so wird derselbe von dem Magnet *S N* angezogen. Ein zweites Stäbchen weiches Eisen, welches man nun dem Pole *n* nähert, wird wiederum leicht so kräftig influenzirt, dass die magnetische Anziehung stärker als das Gewicht des Stäbchens wird. Auf diese Weise kann man fortfahren, kleinere Stäbchen anzuhängen.

Fig. 5.

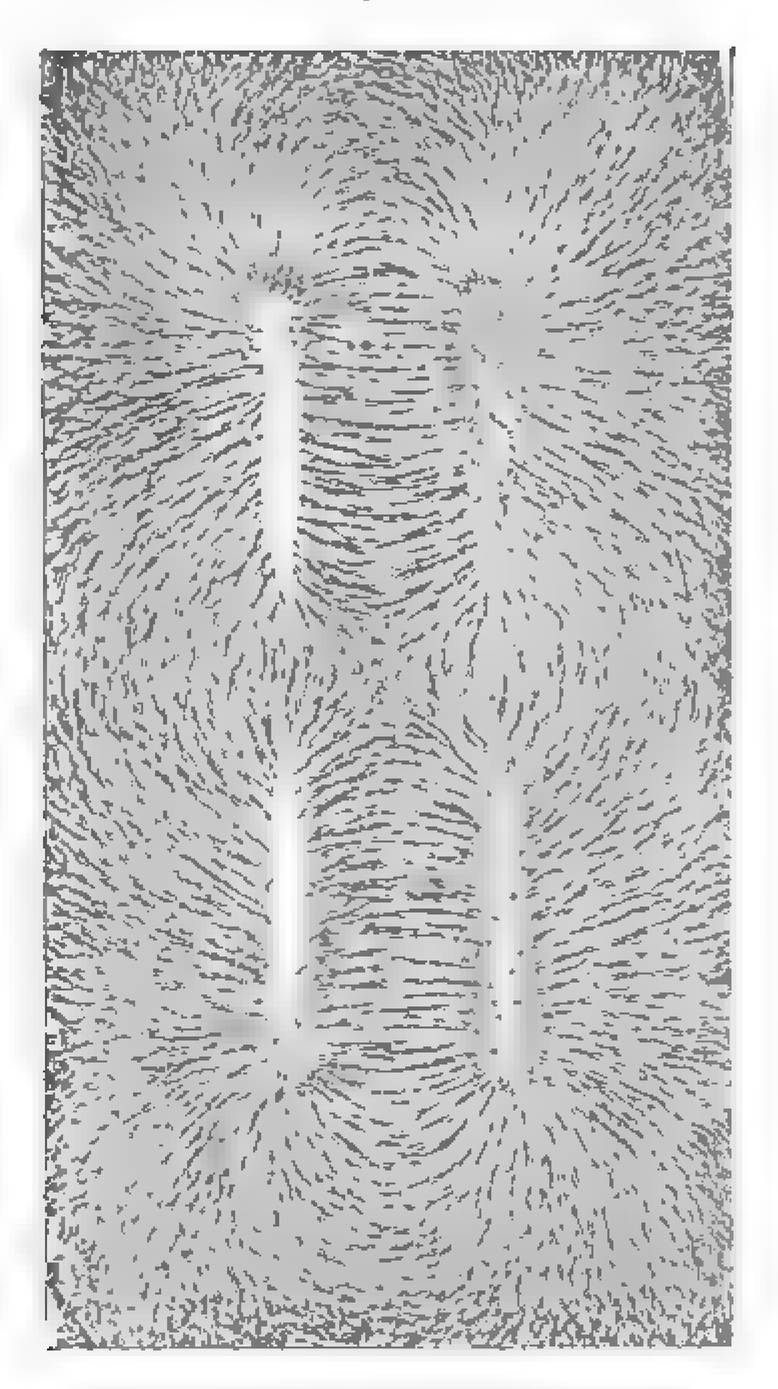


Magnetische Kraftlinien.

Die magnetische Influenz erfolgt auch durch neutrale Körper hindurch, z. B. durch Glastafeln, Kartenblätter u. dgl. Bestreut man eine solche Tafel gleichmässig mit Eisen-



Fig. 6.

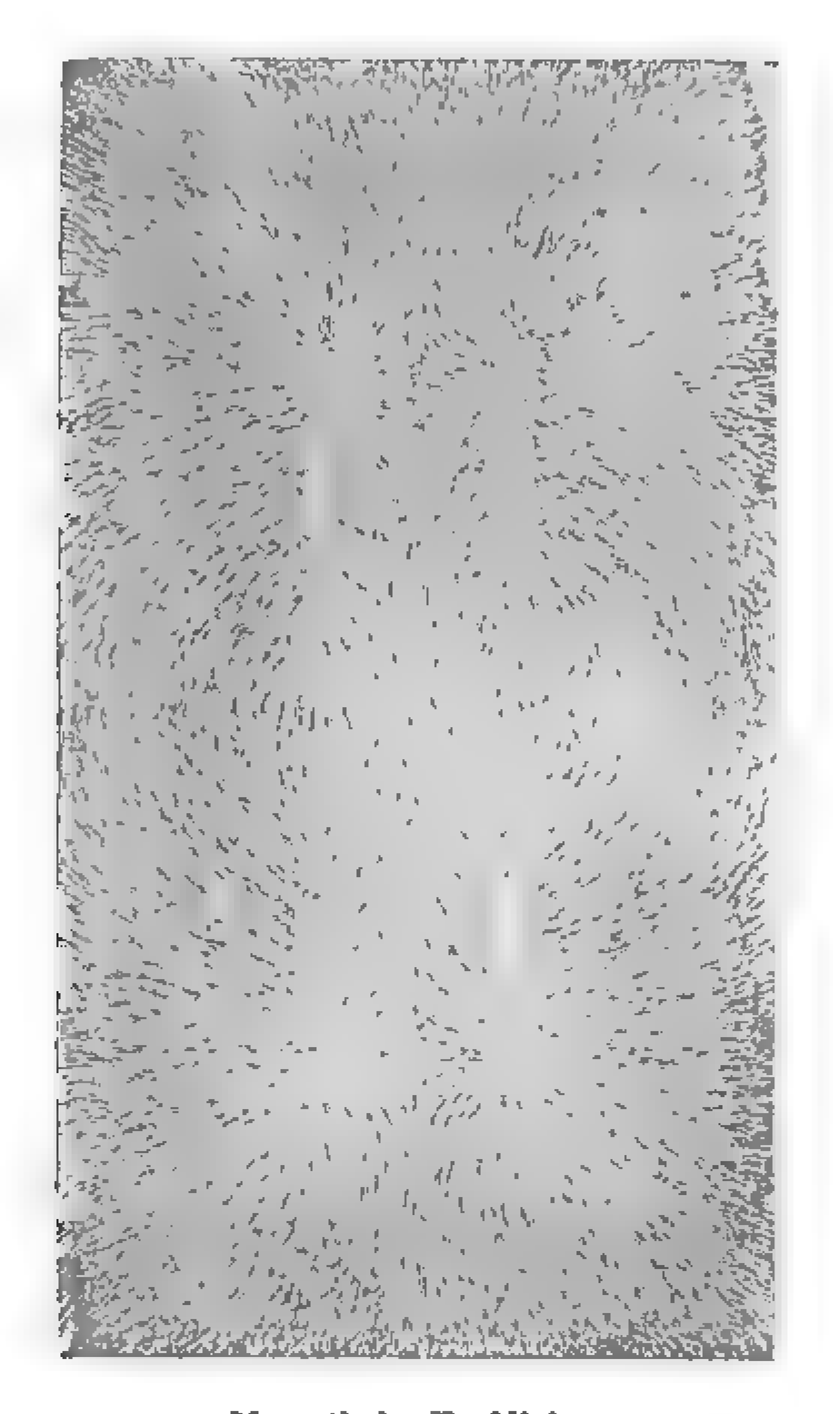


Magnetische Kraftlinien.

feile und nähert etwa von unten die beiden Pole eines gewöhnlichen Magnetstabes bis zur Berührung, so ordnet sich die Eisenfeile nach dem Bilde in Fig. 5 (s. S. 7) an. Die einzelnen Eisentheilchen, die als leicht bewegliche Magnet-

stäbchen betrachtet werden können, lagern sich demnach zu regelmässigen Curven, welche, da die Richtung der Pollinie eines einzelnen Stäbchens auch diejenige ist, in welcher die


Fig. 7.



Magnetische Kraftlinien.

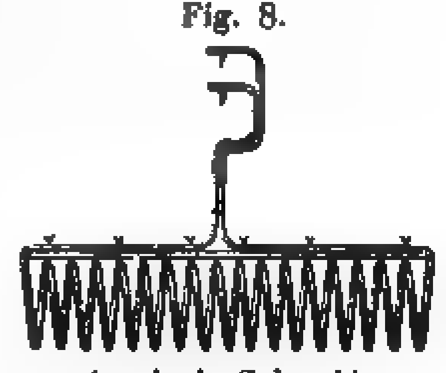
magnetische Kraft der Pole *N* und *S* an der vom Stäbchen besctzten Stelle des Raumes wirkt, magnetische Kraftlinien genannt werden. Dieselben sind in dem erwähnten Bilde zwischen den Polen geschlossen, ändern dann aber ihre Rich-

tung und erstrecken sich über die Pole hinaus nach beiden Seiten in den Raum. Anders gestalten sich natürlich die Kraftlinien, wenn zwei oder mehrere Magnetstäbe beisammen liegen. Liegen etwa zwei Stäbe mit entgegengesetzten Polen einander gegenüber, so gestalten sich die Kraftlinien zum Bilde, welches Figur 6 (s. S. 8) zeigt; charakteristisch für dieses Bild ist der Umstand, dass die Eisentheilchen den Raum zwischen den gegenüberliegenden Enden der beiden Stäbe gleichsam überbrücken, in der Mitte aber, den Indifferenzpuncten der Stäbe gegenüber, ein Kreuz bilden. Ein wesentlich anderes Bild entsteht, Fig. 7 (s. S. 9), wenn die Stäbe mit den gleichnamigen Polen gegenüber gelegt werden, da nunmehr die Curven zwischen den Stäben von dem Nordpole zu dem Südpole desselben Stabes sich hinziehen. Warum die Curven gerade die in den Figuren gezeichneten und keine anderen sind, ergibt sich unschwer, wenn man nur das Gesetz beachtet, dass gleichnamige Pole sich abstossen, ungleichnamige jedoch sich anziehen.

4. Ampère's Solenoid. Der Stahlmagnet als ein System galvanischer Ströme. Zwei galvanische Ströme wirken wie zwei Magnete je nach ihrer Richtung anziehend oder abstossend aufeinander, und eine blosse Drahtspirale, deren Windungen senkrecht zu ihrer Längerichtung stehen, verhält sich, wenn sie von einem galvanischen Strome durchflossen ist, wie ein Stahlmagnet. Hängt man eine solche Spirale von Kupferdraht (Fig. 8) mit ihren aufwärts umgebogenen Enden in zwei mit Quecksilber gefüllte kleine Näpfchen so auf, dass sie frei schwebt und sich leicht drehen kann, und verbindet man das Quecksilber beider Näpfchen mit den Polen einer galvanischen Batterie, so dass ein Strom durch das Drahtgewinde geht, so zeigt die Spirale alle Eigenschaften eines gewöhnlichen Stahlmagnets; sie hat einen Nordpol und einen Südpol, stellt sich wie eine Magnetnadel in die Ebene des magnetischen Meridians und zeigt

nahezu von Süden nach Norden. Nähert man zwei solche Drahtspiralen einander, so stossen sich die gleichnamigen Pole ab, während sich die ungleichnamigen Pole anziehen. Die Polarität der Enden gestaltet sich dabei nach der in §. 1 gegebenen Regel. *Ampère*, dem wir die Hauptgesetze der Elektrodynamik verdanken, nannte eine solche von einem galvanischen Strome durchflossene Drahtspirale ein Solenoid.

Fig. 8.

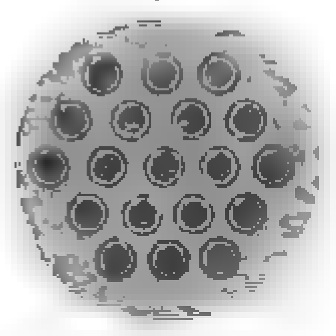


Ampère's Solenoid.

Die Wirkung eines schraubenförmig um einen Eisenkern gewundenen, von einem Strome durchflossenen Drahtes auf das Eisen, wie sie sich beim Elektromagnet zeigt (§. 1), so wie das Verhalten der Solenoide führte den genannten Physiker zu einer neuen Vorstellung von der Natur eines Stahlmagnets. Nach *Ampère's* Theorie denkt man sich ein jedes Molekül eines Magnets als von einem in sich selbst zurückkehrenden galvanischen Strome umkreist; alle diese Elementarströme sind unendlich klein, unendlich einander nahe, alle von gleicher Richtung und alle senkrecht zu einer und derselben Linie, der Achse des Magnets, wie es durch die Fig. 9 angedeutet wird, welche einen Querschnitt senkrecht zur Achse eines Magnetstabes darstellt.

Die Richtung dieser Molekularströme ist bei je zwei unendlich nahe liegenden Molekülen in den sich berührenden Theilen entgegengesetzt und daher die Wirkung derselben nach aussen gleich Null. Es bleiben mithin nur die äusseren Randströme als wirksame Theile übrig, und statt der einzelnen, in jedem Querschnitte eines Stahlstabes circulirenden Molekularströme hat man gleichsam als die Resultirende derselben nur einen einzigen äusseren Strom, welcher senkrecht zu der Längenachse des

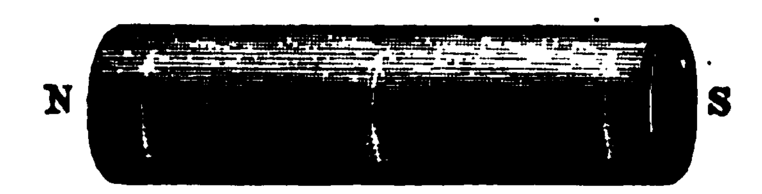
Fig. 9.



Die Molekularströme.

Magnetstabes um denselben kreist. Man gelangt so zu der für die Anwendung etwas bequemeren Vorstellung *Ampère's* von der Natur eines Stahlmagnets, dass er ein in sich geschlossenes System von einzelnen unter sich parallelen und gleich gerichteten galvanischen Strömen ist. Diese Ströme haben eine solche Richtung, dass sie auf dem dem Beschauer zugekehrten Südpole mit der Richtung eines Uhrzeigers übereinstimmen, wie es durch die Figur 10 veranschaulicht wird. Richtet man den Nordpol gegen den Beschauer, so circuliren auf demselben selbstverständlich die Ströme entgegengesetzt der Richtung eines Uhrzeigers.

Fig. 10.



Der Stahlmagnet als System galvanischer Ströme.

Bei aller Aehnlichkeit der Solenoide und der Magnete unterscheiden sich doch beide in ihrer Wirkung dadurch, dass der Pol eines Solenoids am äusserten Ende desselben, bei einem Magnet dagegen stets etwas von diesem Ende entfernt in seinem Innern liegt, was von der gegenseitigen Einwirkung der einzelnen, im Magnet circulirenden kleinen geschlossenen Ströme herrührt. In dem Maasse, als man einem Magnet mehr und mehr die Form eines Fadens gibt und damit den kleinen elementaren Molekularströmen näher kommt, nähern sich auch die Pole des fadenförmigen Magnets mehr und mehr seinen äussersten Enden. Spätere Untersuchungen von *Gaugain* haben ausserdem noch gezeigt, dass auch noch in anderer Beziehung in der Analogie zwischen den Solenoiden und den Magneten Abweichungen Statt finden, und dass man, um die Theorie der Stromwirkungen auf die der Solenoide anwenden zu können, sich die Magnete

als Solenoide oder Systeme von Strömen zu denken hat, die zwar alle gleich weit von einander entfernt sind, deren Intensitäten aber von einem Strome zum andern nach einem bestimmten Gesetze variiren, oder auch als Stromsysteme, deren Einzelströme alle dieselbe Intensität haben und in ihrer Gesammtheit als einen einzigen Strom sich darstellen, dessen einzelne Windungen jedoch ungleiche, nach einem bestimmten Gesetze variirende Entfernungen von einander haben.

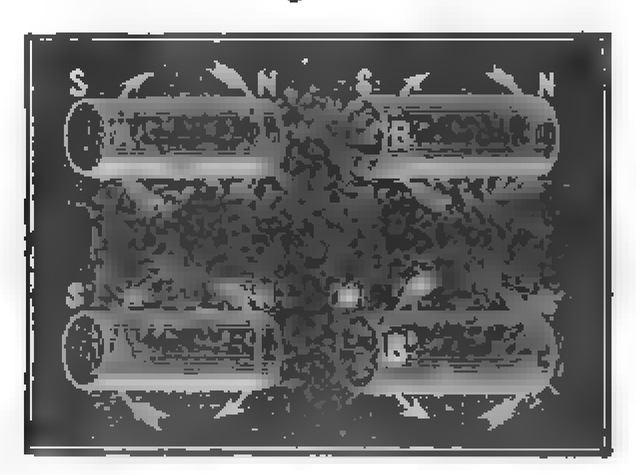
5. Gegenseitige Wirkung galvanischer Ströme aufeinander; Anziehung eines Eisenstabes durch ein Solenoid. Nachdem einmal festgestellt worden war, dass sich ein Magnet wie ein Solenoid verhält und da zwei Magnete bezw. zwei Solenoide anziehend oder abstossend aufeinander wirken, so liess sich erwarten, dass auch zwei galvanische Ströme je nach ihrer Richtung anziehend oder abstossend aufeinander wirken würden. In der That fand auch *Ampère* schon in dieser Beziehung folgende drei elektrodynamische Gesetze:

1) parallele Ströme von gleicher Richtung ziehen sich an;
2) parallele Ströme von entgegengesetzter Richtung stossen sich ab;
3) nicht parallele (sich kreuzende) Ströme haben das Bestreben, sich parallel und gleichgerichtet zu stellen.

Dass die beiden ersten Gesetze dem Grundgesetze des Magnetismus: „Ungleichnamige Pole ziehen sich an, gleichnamige Pole stossen sich ab“ entsprechen, ist aus dem vorhergehenden Paragraphen sowie der Fig. 11 (s. f. S.) zu ersehen. Dieselben Gesetze bedingen ferner, dass ein Solenoid einen Eisenstab anziehen und in sich hineinziehen muss, wenn der Stab in der Achse des Solenoids frei beweglich und die anziehende Kraft grösser als das Gewicht des Stabes ist. Dieser wird nämlich, dem Solenoid hinreichend genähert, durch letzteres

influenzirt und dadurch von solchen unter sich parallelen Strömen durchflossen, welche dem das Solenoid durchfliessenden Strome gleichgerichtet sind. Betrachten wir auch diesen als ein System von einzelnen unter sich parallelen und gleichgerichteten Strömen, so haben wir zwischen Solenoid-

Fig. 11.



Stahlmagnete als Systeme galvanischer Ströme.

und Stabströmen zu unterscheiden. Je nach der gegenseitigen Lage zweier verschiedener Ströme zu einander wird die anziehende Wirkung derselben den Stab in die Höhe oder in die Tiefe zu ziehen trachten; ersteres geschieht, wenn der Solenoidstrom über dem Stabstrome liegt, letzteres, wenn das Gegentheil der Fall ist. Fliessen die beiden Ströme in gleicher Ebene, so übt ihre Anziehung auf die Bewegung des Stabes keinen Einfluss aus, trägt vielmehr nur dazu bei, dass der Stab stets die Achse des Solenoids einnimmt. Denken wir uns nun das Solenoid und den Stab von gleicher Grösse und beide etwa in zehn gleiche Theile zerlegt, nehmen wir an, dass auf die Strome eines Stabtheiles von einer Seite her höchstens die Ströme in fünf Solenoidtheilen einwirken, und bezeichnen wir die Kraft, mit welcher ein Solenoidtheil einen Stabtheil nach $\frac{\text{oben}}{\text{unten}}$ zieht, mit $\pm k$, so lässt sich die vom Solenoid auf den Stab in den verschiedenen Stellungen ausgeübte Kraft annähernd dadurch bestimmen, dass man die von den bezüglichen Solenoidtheilen auf jeden Stabtheil

ausgeübten Kräfte addirt. Für die verschiedenen Höhen 0, I, ... (siehe Figur 12, S. 16) ergibt sich aber:[1])

0. $5k + 4k + 3k + 2k + k = 15k.$

I. $5k + 5k + 4k + 3k + 2k = 19k.$

II. $(5k-k) + 5k + 5k + 4k + 3k + 2k + k = 24k.$

III. $(5k-2k) + (5k-k) + 5k + 5k + 4k + 3k + 2k + k = 27k.$

IV. $(5k-3k) + (5k-2k) + (5k-k) + 5k + 5k + 4k + 3k + 2k + k = 29k.$

V. $(5k-4k) + (5k-3k) + (5k-2k) + (5k-k) + 5k + 5k + 4k + 3k + 2k + k = 30k.$

VI. $(4k-5k) + (5k-4k) + (5k-3k) + (5k-2k) + (5k-k) + 5k + 5k + 4k + 3k + 2k = 28k.$

VII. $(3k-5k) + (4k-5k) + (5k-4k) + (5k-3k) + (5k-2k) + (5k-k) + 5k + 5k + 4k + 3k = 24k.$

VIII. $(2k-5k) + (3k-5k) + (4k-5k) + (5k-4k) + (5k-3k) + (5k-2k) + (5k-k) + 5k + 5k + 4k = 18k.$

IX. $(k-5k) + (2k-5k) + (3k-5k) + (4k-5k) + (5k-4k) + (5k-3k) + (5k-2k) + (5k-k) + 5k + 5k = 10k.$

X. $-5k + (k-5k) + (2k-5k) + (3k-5k) + (4k-5k) + (5k-4k) + (5k-3k) + (5k-2k) + (5k-k) + 5k = 0.$

Obschon die Berechnung nur für einen speciellen Fall, mit Vernachlässigung der Entfernung eines Solenoidtheiles von dem Stabtheile, durchgeführt wurde, so zeigt sie doch schon, in welcher Weise die Grösse der Kraft sich ändert, mit der ein Eisenkern von einem Solenoid angezogen wird. Nähert man darnach einer vom Strome durchflossenen Drahtspirale in ihrer axialen Richtung einen cylindrischen Eisenstab, so wird derselbe soweit in die Spirale hineingezogen, bis die Mitte der Spirale mit der Mitte des Stabes in eine Ebene fällt; die Kraft, mit welcher der Stab in die Spirale hineingezogen wird, erreicht ihr Maximum, wenn das eine Ende des Stabes mit der Mitte der Spirale eine Ebene bildet, nimmt alsdann, je mehr die beiden Mitten sich einander

---

[1]) Vergl. §. 10 die ausführliche analoge Betrachtung der Wirkungsweise des Gramme'schen Ringes.

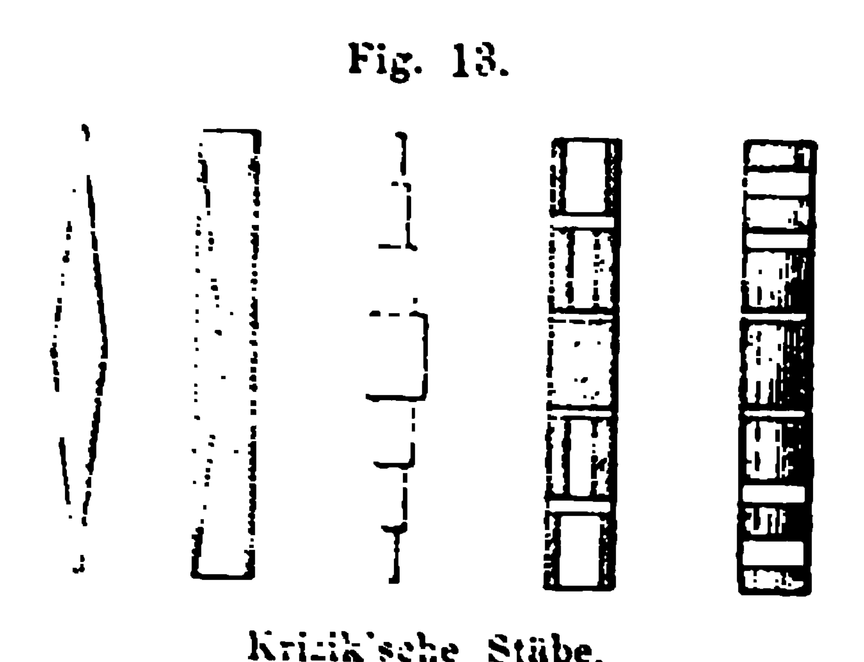
nähern, stetig ab, bis dieselbe, wenn die beiden Mitten in eine Ebene fallen, gleich Null wird.

Fig. 12.

Anziehung des Eisenstabes durch ein Solenoid.

Das ausgesprochene Gesetz gilt nur dann, wenn der Stab die Gestalt eines geraden Cylinders hat. Denken wir uns aber den Stab aus einzelnen Schichten zusammengesetzt, welche ungleiche Durchmesser haben, so ist die Wirkung der vom Solenoid auf eine Schicht ausgeübten Kraft um so grösser, je geringer ihr Durchmesser ist und umgekehrt. Durch geeignete Gestaltung des Stabes lässt sich daher erzielen, dass die Kraftäusserung eines Solenoides auf den Stab auf eine beträchtliche Strecke des Stabes gleich bleibt. So zeigt Fig. 13 mehrere derartige Stäbe, deren Anordnung wir *Křižik* verdanken.

Fig. 13.



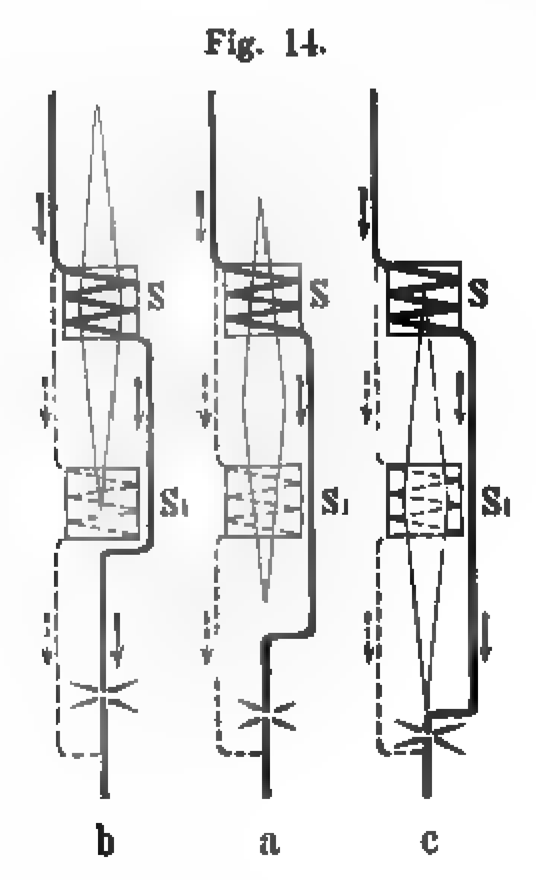
Křižik'sche Stäbe.

Die Anwendung derselben kann eine vielseitige sein und zwar in Verbindung mit einem Solenoid überall dort, wo eine gleichmässige Bewegung oder Anziehung auf eine grössere Länge erzielt werden soll, oder in Verbindung mit einem Solenoid und einer anderen, demselben entgegen wirkenden Feder- oder Gewichtskraft, oder in Verbindung mit

zwei Solenoiden, deren Kraftäusserungen ebenfalls entgegengesetzt sind, wo es sich um die Haltung des Stabes in einer bestimmten Lage oder um eine der Aenderung der Kraftäusserung entsprechende Verschiebung dieses Stabes handelt.

Befindet sich etwa ein doppelkonischer Eisenkern in zwei Solenoiden von gleicher Länge, wie Fig. 14a zeigt, so ist die Wirkung der beiden Spulen bei gleich grossem magnetischem Moment auf den Eisenkern gleich. Dasselbe ist der Fall, wenn die Spule S_1 an dem einen Ende des Kerns und S nahe seiner Mitte ist (Fig. 14b) und ebenso, wenn die Spule S am anderen Ende und Spule S_1 nahe der Mitte ist (Fig. 14c). Dasselbe gilt für jeden Punct zwischen diesen

Fig. 14.



Gleichgewichtslage eines Krizik'schen Kernes bei zwei Solenoiden.

beiden extremen Stellungen. Ist nun das Gewicht des Eisenkernes äquilibrit, so bringt jede kleine Veränderung des magnetischen Moments der Spulen eine Bewegung des Kernes in der einen oder anderen Richtung hervor, bis die Mitte

des Kerns in der Mitte der kräftiger wirkenden Spule angelangt ist.

6. Die galvanische Induction. Ein galvanischer Strom kann in einem Drahte, der ihm benachbart ist, ohne dass er mit diesem Drahte selbst in Berührung kommt, einen neuen galvanischen Strom hervorrufen. Man bezeichnet im Allgemeinen die Erscheinung, dass galvanische Ströme ohne eine Batterie durch einen bereits vorhandenen Strom erzeugt werden, mit dem Namen Induction. *Faraday*, der im Jahre 1830 u. ff. diese neue Art der Stromerzeugung entdeckte, unterschied die galvanische Induction von der dynamischen, je nachdem der vom Batteriestrome durchflossene Leiter in Ruhe bleibt oder in Bewegung versetzt wird.

Die galvanische Induction besteht in Folgendem:

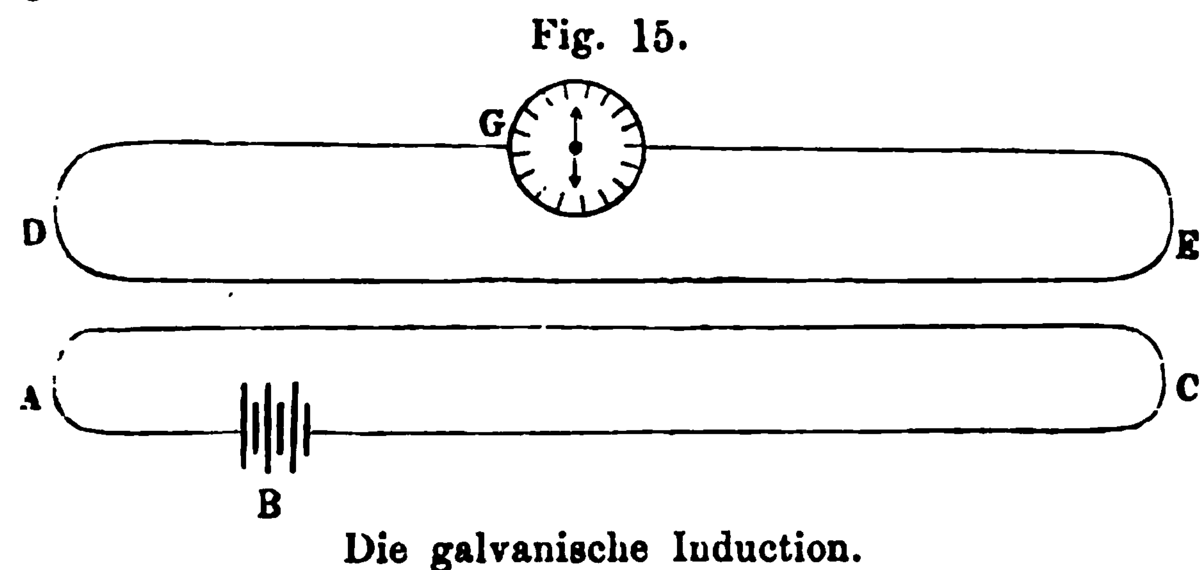
Befindet sich in der Nähe eines mit den Polen einer Batterie in Verbindung stehenden, also von einem Strome durchflossenen Leiters ein in sich geschlossener Draht, so entsteht in dem Augenblicke, wo die Batterie geschlossen oder geöffnet wird, auch in dem Nebendrahte ein Strom, welcher immer nur einen Augenblick dauert. Dieser durch den Batterie- oder den primären Strom in dem benachbarten Drahte erzeugte secundäre Strom wird Inductionsstrom genannt.

Zur Erläuterung dieser Erscheinung stelle in Fig. 15 *B* eine galvanische Batterie und *A C* den dieselbe schliessenden Leitungsdraht vor; in der Nähe dieses letztern befindet sich der Draht *D E*, in welchem ein Galvanometer *G* eingeschaltet ist. Da der Draht *D E* weder mit der Batterie noch mit dem vom Strome durchflossenen Schliessungsdrahte in Verbindung steht, so fliesst für gewöhnlich kein Strom durch denselben und die Nadel der Boussole steht auf Null.

Wenn jedoch die Batterie *B* geschlossen wird, so entsteht in dem Momente des Schliessens, wo der Strom durch

die Leitung $A\ C$ hindurchfliesst, auch in dem Nebendrahte ein Inductionsstrom, dessen Auftreten das Galvanometer G anzeigt und dessen Richtung dem Hauptstrome in $A\ C$ entgegengesetzt ist.

Fig. 15.



Die galvanische Induction.

Der Inductionsstrom in $D\ E$ hat nur eine überaus kurze Dauer; er erscheint nur für einen Augenblick und verschwindet dann wieder, obgleich der Hauptstrom der Batterie B fortfährt, in dem Drahte C zu circuliren. Die Nadel des Galvanometers G zuckt daher auch nur für einen Augenblick aus ihrer Ruhelage und kehrt dann sofort wieder auf Null zurück, ungeachtet der Strom in $A\ C$ fortdauert.

Wenn man aber die Batterie B öffnet und die Leitung $A\ C$ unterbricht, so entsteht mit dem Verschwinden des Hauptstromes sofort wieder ein Inductionsstrom im Nebendrahte $D\ E$, ebenfalls von äusserst kurzer Dauer, aber dem verschwindenden Hauptstrome gleichgerichtet.

Es ergibt sich also:

1) dass die galvanischen Inductionsströme von ausserordentlich kurzer Dauer sind;
2) dass bei jedesmaligem Schliessen der Batterie der Inductionsstrom dem Batteriestrome entgegengesetzt, bei jedesmaligem Oeffnen der Batterie der Inductionsstrom dem Batteriestrome gleichgerichtet ist.

Würde man in der Minute die Batterie 500 Mal schliessen und öffnen, so erhielte man hierdurch in einem be-

2*

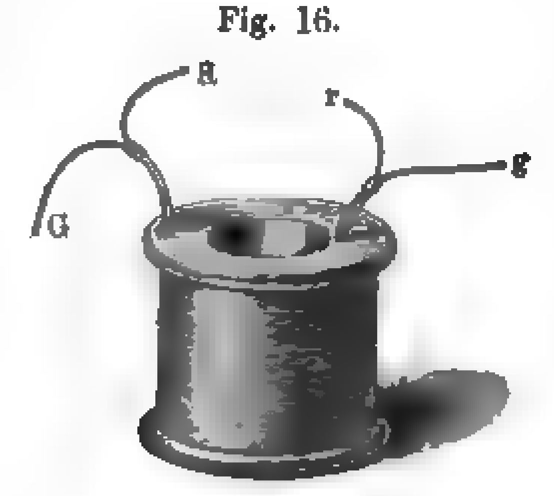
nachbarten Leiter 1000 Inductionsströme, welche abwechselnd entgegengesetzte Richtungen haben. Die sämmtlichen Schliessungsströme haben unter sich gleiche Richtung, eben so alle Oeffnungsströme, dagegen die ersteren die entgegengesetzte Richtung der letzteren.

Die Stärke des Inductionsstromes ist proportional der Stärke des Batteriestromes; sie ist ausserdem noch abhängig von der Entfernung des Inductions- und des inducirenden (primären) Drahtes, so wie von der Länge derjenigen Drahttheile, welche auf die Inductionswirkung Einfluss haben.

Die inducirende Gesammtwirkung von *A C* auf *D E* setzt sich nämlich aus der Summe derjenigen kleinen Wirkungen zusammen, welche die einzelnen Stromelemente von *A C* auf die benachbarten Elemente des Nebendrahtes *D E* ausüben; es wächst daher der Inductionsstrom in *D E* mit der Anzahl derjenigen Drahttheile, welche auf den secundären Draht inducirend einwirken, im Allgemeinen also mit der Länge der beiden Drähte.

Diese letzte Rücksicht dient als Richtschnur bei der Anfertigung von Vorrichtungen, durch welche kräftige Inductionsströme erzeugt werden sollen. Dieselben bestehen, wie Fig. 16 zeigt, aus zwei einander möglichst nahe gebrachten

Fig. 16.



Inductionsrolle.

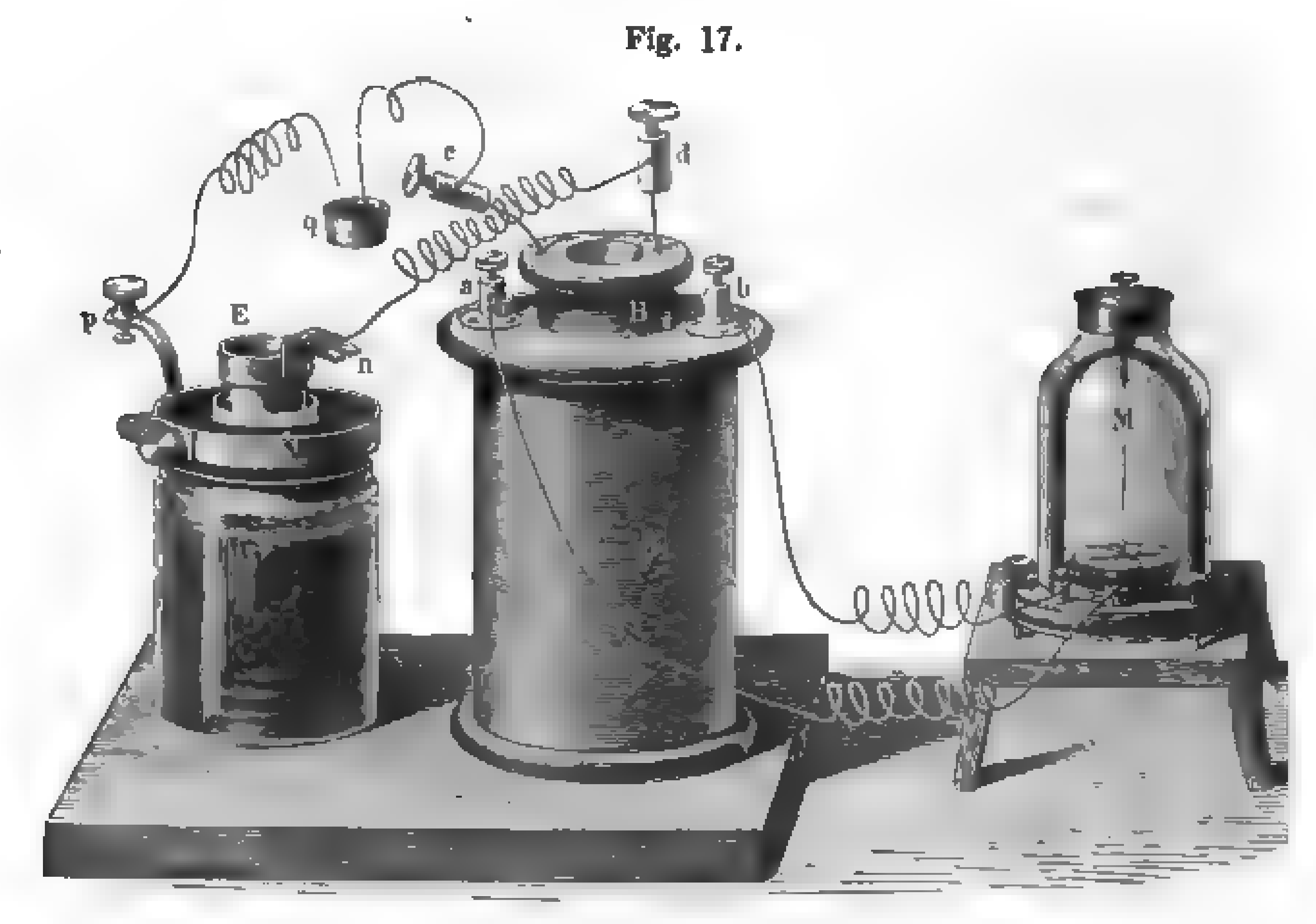
Drähten, die sich gleichwohl in keinem Puncte leitend berühren dürfen. Zu diesem Zwecke werden die Drähte

sorgfältig mit Seide umsponnen und so von einander isolirt in grosser Länge nach derselben Richtung dicht übereinander auf eine Rolle von Holz oder Pappe aufgewickelt. Das System dieser beiden Drähte, von denen aus besonderen Gründen der eine Draht, z. B. *R r*, weit dicker genommen wird als der Nebendraht *G g*, bildet eine Inductionsrolle; der dicke Draht wird der primäre oder Hauptdraht, der dünnere Inductionsdraht genannt.

Man kann auch jeden der genannten Drähte getrennt für sich auf eine besondere Holz- oder Pappspule aufwinden und dann die Spule des dicken inducirenden Drahtes in die Höhlung der Inductionsspule des dünnen Drahtes hineinstecken. Der Versuch, wie er durch die schematische Figur 15 erläutert worden ist, gestaltet sich dann in der Weise, wie es durch Figur 17 dargestellt ist. *A* ist die aus feinem, langem Drahte bestehende Inductionsrolle, *B* die inducirende Spirale aus dickem Drahte, *E* das galvanische Element, *M* das Galvanometer. Die Enden *a b* der Rolle *A* sind mit dem Galvanometer, die Enden *c d* des dicken Drahtes vermittelst eines Quecksilbernäpfchens *q* mit den Polen *p n* des Elements verbunden. Im Ruhezustande zeigt die Nadel des Galvanometers, dass in der Rolle *A* kein Strom vorhanden ist. Wird aber die Batterie durch Eintauchen des von *p* kommenden Drahtes in das Quecksilber bei *q* geschlossen, so schlägt die Nadel in *M* für einen Augenblick aus und zeigt an, dass die Rolle *A* von einem Strome durchflossen wird, der dem in der Rolle *B* circulirenden Strome entgegengesetzt ist; dann kehrt die Nadel sofort wieder auf den Nullpunct zurück und verharrt in Ruhe, bis man durch Entfernen des Drahtes *q* aus dem Quecksilber die Batterie wieder öffnet, wo dann der zweite Ausschlag der Nadel in *M* den Oeffnungs-Inductionsstrom anzeigt, der mit dem Batteriestrome in *B* gleichgerichtet ist.

Besonders beachtenswerth ist die Erscheinung, dass, wenn der Batteriestrom im dicken Drahte *B* circulirt, die Nadel also in Ruhe ist, jede plötzliche Verstärkung dieses Stromes einen ihm entgegengesetzten Strom in dem dünnen Drahte inducirt; umgekehrt erzeugt jede plötzliche Abnahme in der Stärke des Batteriestromes in dem Nebendrahte einen Strom von gleicher Richtung.

Fig. 17.



Die galvanische Induction.

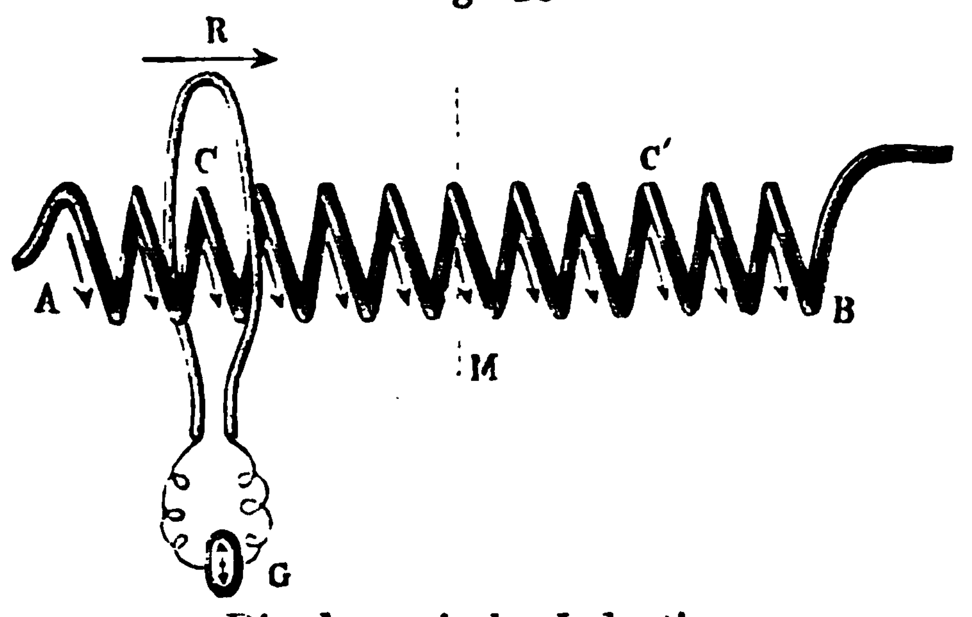
7. Die dynamische Induction. Das Inductionsgesetz von Lenz. Ganz eben so wie das Schliessen und Oeffnen der Batterie oder eine Zu- und Abnahme der Stromstärke in dem primären Drahte wirkt auch eine rasche Annäherung oder Entfernung des von einem Strome durchflossenen primären Drahtes inducirend auf einen Nebendraht. Wird nämlich die Rolle *B* dicken Drahtes (Fig. 17), welche man sich aus der anderen Rolle *A* herausgezogen denkt, während ein Strom durch sie hindurchgeht, rasch der Rolle *A* dünnen

Drahtes genähert oder, was dasselbe ist, wird die Rolle *B* schnell in die Rolle *A* hineingesteckt, so entsteht in *A* ein Inductionsstrom, welcher, wie beim Schliessen der Batterie, dem Hauptstrome entgegengesetzt ist; bei der raschen Entfernung der beiden Rollen von einander entsteht in *A* ein zweiter Inductionsstrom, welcher mit dem Batteriestrome gleiche Richtung hat.

Beide Inductionsströme, von denen man den ersten den Näherungsstrom, den andern den Entfernungsstrom nennen kann, haben die Eigenschaften, welche wir in dem vorigen Paragraphen angegeben haben; der Näherungsstrom hat mit dem Hauptstrome die entgegengesetzte, der Entfernungsstrom die gleiche Richtung.

Hiernach ist es leicht, die inducirende Wirkung zu bestimmen, welche ein vom Strome in der Richtung von *A* nach *B* (Fig. 18) durchflossenes Solenoid auf einen ringförmigen Leiter *R* ausübt, welcher in derselben Richtung

Fig. 18.



Die dynamische Induction.

über dasselbe von einem Ende bis zum andern fortgeschoben wird. Um die einzelnen Windungen besser erkennen zu können, sind dieselben in der Figur mit Absicht etwas von einander entfernt gezeichnet. Wenn sich der Ring von *A* bis *C* bewegt hat, so hat er sich von den links hinter ihm liegenden Windungen des Solenoids entfernt und der in ihm inducirte Entfernungsstrom hat dieselbe

Richtung wie der Strom des Solenoids. Gleichzeitig aber hat er sich den rechts vor ihm liegenden Solenoid-Windungen genähert, und der dadurch in ihm inducirte Näherungsstrom hat zum Solenoidstrome die entgegengesetzte Richtung.

In dem Ringe *R* ist also in jedem Puncte seines Weges ein Inductionsstrom vorhanden, welcher die Differenz ist aus dem jedesmaligen Näherungs- und Entfernungsstrome. In dem Falle, der in Figur 18 angenommen, ist der Näherungsstrom bedeutend überwiegend über den Entfernungsstrom; im Puncte *C'* würde das Umgekehrte der Fall sein; in der Mitte *M* des Solenoids sind beide Ströme gleich stark und ihre Differenz ist Null; der Ring ist auf diesem Puncte stromlos.

Schiebt man den Ring von der Mitte *M* aus über das Solenoid nach dem Ende *B* hin, so ist der in ihm inducirte Strom ein Entfernungsstrom; bewegt man ihn dann in gleicher Weise über das Ende *B* des Solenoids weiter hinaus, so dass sein Mittelpunct auf der Achse des letztern und seine Ebene senkrecht zu dieser Achse bleibt, so entfernt er sich nun von allen Windungen des Solenoids; es entsteht also auch bei dieser Bewegung wieder ein inducirter Entfernungsstrom. Dasselbe ist der Fall, wenn man den Ring, bevor er das Solenoid erreicht, aus einer gewissen Entfernung von *A* auf der Achse des Solenoids nach *A* hin bewegt, nur mit dem Unterschiede, dass hierbei der in dem Ringe auftretende Inductionsstrom vom Ausgange seiner Bewegung an bis zur Mitte *M* ein Näherungsstrom ist. Bewegt man daher den Ring von einer Stelle vor *A* über das ganze Solenoid hinweg bis zu einer Stelle über *B* hinaus, so tritt in der Mitte *M* des Solenoids ein Stromwechsel ein, und in dieser Stelle ist der Ring stromlos.

Mit Recht bemerkt *Gaugain* zu diesem Falle, dass nach seinen sehr ausgedehnten Untersuchungen die Stromstärke

im Ringe nicht von der Anzahl der vor und hinter ihm liegenden Solenoid-Windungen allein abhänge, weil die inducirenden Wirkungen der letzteren bei den verschiedenen Entfernungen des Ringes nicht dieselben sind.

Die dynamische Induction bildet die Ergänzung zu den im §. 5 angeführten *Ampère*'schen Gesetzen. Verändert man nämlich in irgend einer Weise die Lage eines von einem Strome durchflossenen Leiters gegen einen geschlossenen stromlosen Leiter, so wird in dem letzteren ein Strom inducirt. Welche Richtung dieser Inductionsstrom erhält, lässt sich durch folgendes, von *Lenz* aufgestelltes Gesetz im Voraus bestimmen:

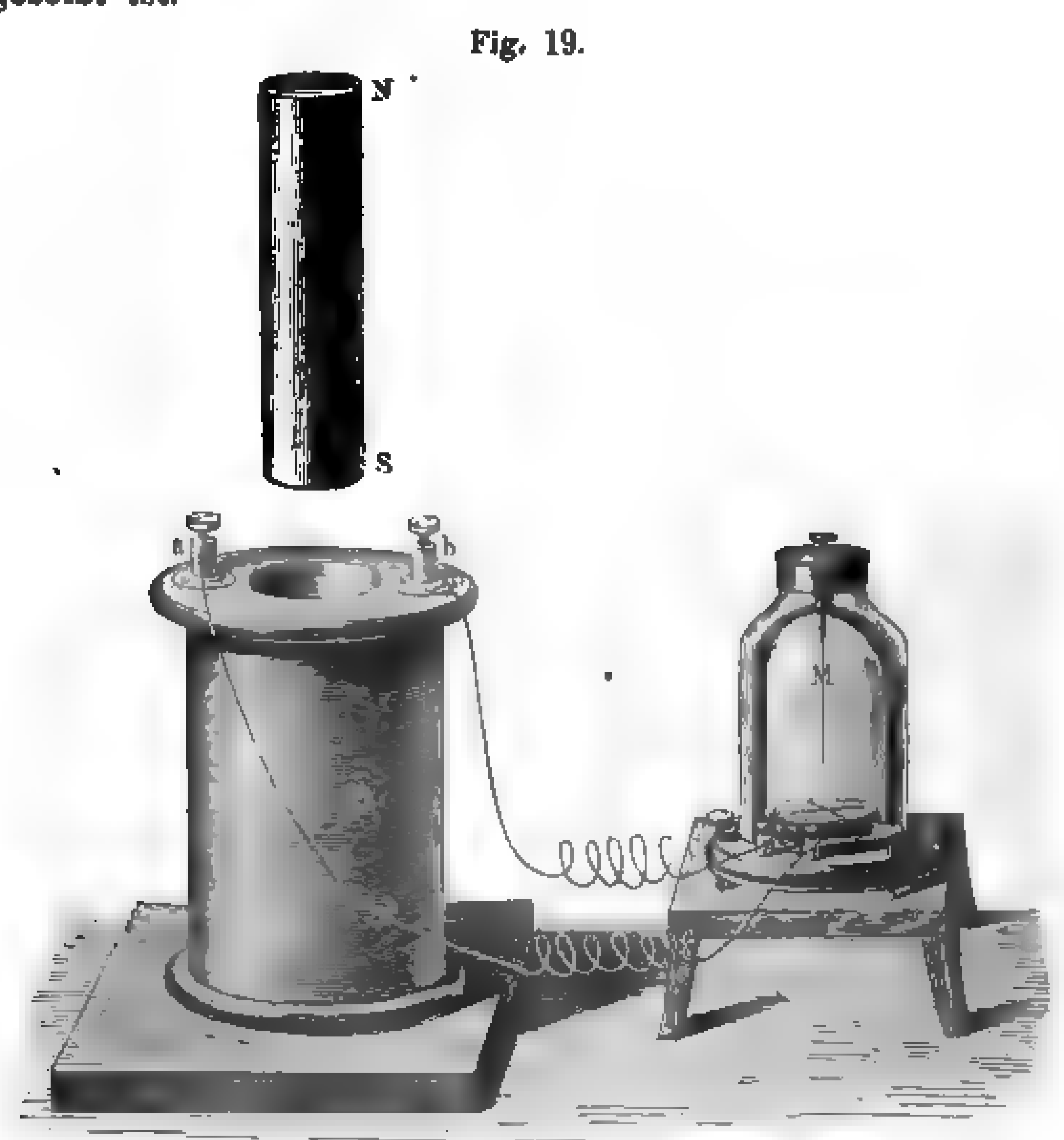
Wird die gegenseitige Lage zweier Leiter *A* und *B*, von denen der erste *A* von einem Strome durchflossen, der zweite *B* geschlossen ist, geändert, so wird bei dieser Bewegung in *B* ein Strom von solcher Richtung inducirt, dass er durch seine elektrodynamische Einwirkung (§. 5) auf den Strom *A* diesem Stromleiter eine Bewegung ertheilt haben würde, welche derjenigen entgegengesetzt ist, durch welche der Inductionsstrom hervorgerufen wurde.

8. **Die Magnet-Induction.** Nach *Ampère* erscheint ein Magnet als ein System paralleler, gleich weit von einander entfernter galvanischer Ströme, welche das Eisen senkrecht zu seiner Achse umkreisen. (§. 4.) Man kann daher die von einem Strome durchflossene Drahtrolle durch einen Magnet ersetzen und erhält dann dieselben Erscheinungen, welche man durch Annäherung oder Entfernung einer Stromrolle gegen eine stromlose Rolle erhält, und die in dem §. 7 beschrieben sind.

Schiebt man daher in die aus dünnem und gut isolirtem Drahte gebildete Spirale *A* (Fig. 19) rasch einen Magnet *S N*, so entsteht in der Drahtspirale, wenn ihre Enden leitend, z. B. durch ein Galvanometer *M*, verbunden sind, ein Inductionsstrom. Bleibt dann der Magnet in Ruhe, so

ist ein Inductionsstrom nicht vorhanden und die Nadel in *M* kehrt in die Ruhelage zurück. Sobald man jedoch den Magnet aus der Drahtrolle wieder entfernt, entsteht in letzterer ein zweiter Inductionsstrom, der dem erstern entgegengesetzt ist.

Fig. 19.



Die Magnet-Induction.

Die auf diese Weise erzeugten Inductionsströme entstehen, wie die im vorigen Paragraphen behandelten, durch Bewegung (Annäherung oder Entfernung); zum Unterschiede jedoch von der durch die Bewegung einer Stromrolle entstehenden dynamischen Induction nennt man die durch die Bewegung eines Magnets erzeugte Induction die Magnet-Induction.

Die Richtung des bei der Bewegung eines Magnets gegen eine geschlossene Drahtrolle in dieser inducirten Stromes hängt ab von der Art der Bewegung (Annäherung oder Entfernung), von der Richtung der Drahtwindungen und von der Polarität desjenigen Endes des Magnetstabes (Süd- oder Nordpol), welcher bei der Bewegung des Magnets gegen die Drahtrolle am meisten von Einfluss ist.

Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dass man, um die magnet-inducirten Ströme zu erhalten, eben so gut die Drahtrolle gegen den Magnet bewegen kann, als, wie im Vorstehenden angenommen wurde, den Magnet gegen die feststehende Drahtrolle.

Um für alle Fälle auf die einfachste Weise die Richtung eines durch den Magnet inducirten Stromes zu erhalten, betrachtet man letztern als ein System von galvanischen Strömen, welche den Eisenkern senkrecht zu seiner Länge-richtung derart umkreisen, dass sie auf dem nach dem Beschauer hingerichteten Südpole wie der Zeiger einer Uhr laufen. (§. 4.) Es gilt dann bezüglich der Richtung eines durch die Bewegung des Magnets inducirten Stromes alles das, was im §. 7 über die dynamische Induction gesagt worden ist, d. h. man erhält je nach der Art der relativen Bewegung von Magnet und Drahtrolle Näherungsströme oder Entfernungsströme oder auch beide zugleich.

Um jeden Magnetpol verbreitet sich nach §. 3 ein magnetisches Feld, und die Beobachtung lehrt, dass jede Veränderung in diesem magnetischen Felde stärkend oder schwächend auf den Pol einwirkt. Es ist daher auch nicht nöthig, dass man, um in einer Drahtrolle Inductionsströme zu erzeugen, einen Magnetpol in dieselbe hineinstecke oder aus derselben entferne, vielmehr genügt jede Bewegung des Magnets gegen die Drahtrolle zur Seite oder vor derselben, um in ihr einen Strom zu induciren, wenn diese Bewegung nur innerhalb des magnetischen Feldes geschieht. Je energischer diese

Bewegung erfolgt und je mehr dadurch das ursprüngliche Gleichgewicht im magnetischen Felde gestört wird, desto stärker ist der erzeugte Inductionsstrom. Die Erscheinungen an dem *Bell*'schen Telephone zeigen, dass selbst die raschesten Bewegungen einer eisernen Platte im magnetischen Felde eines Magnetpoles, wie sie von einer dünnen vibrirenden Lamelle dicht vor einem Magnetpole ausgeführt werden, von entsprechenden zu- oder abnehmenden Inductionsströmen begleitet sind.

Von welcher Tragweite die Magnet-Induction ist, welche in allen unseren weiteren Untersuchungen die Hauptrolle spielt, sieht man schon daraus, dass sie ein Mittel darbietet, um ohne Anwendung der überaus lästigen galvanischen Batterieen durch die blosse Bewegung eines kräftigen Magnets gegen eine geschlossene Drahtrolle, oder der Drahtrolle gegen einen feststehenden Magnet entsprechend starke Inductionsströme zu erzeugen, welche zwar jedesmal nur von sehr kurzer Dauer sind und in der Reihe ihrer Aufeinanderfolge abwechselnd entgegengesetzte Richtungen haben, sonst aber alle Eigenschaften der gewöhnlichen Batterieströme besitzen und daher zu medicinischen Zwecken, zum Betriebe von elektrischen Telegraphen, Läutewerken, Uhren, zur Erzeugung des elektrischen Kohlenlichtes, zu metallischen Niederschlägen (Galvanoplastik) und zum Telephoniren u. s. w. verwendet werden können.

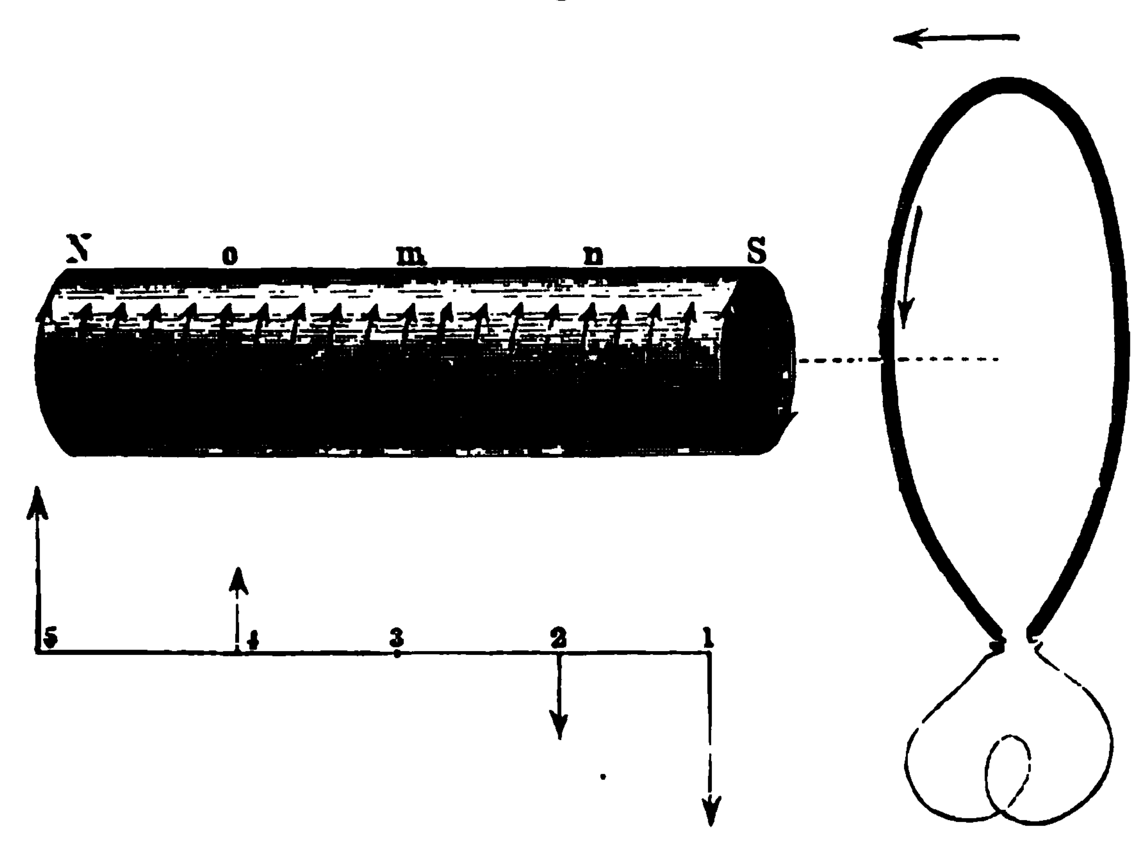
9. Bewegung eines Magnets gegen einen geschlossenen Drahtring. Es ist nun nicht schwer, im voraus zu bestimmen, was eintritt, wenn man einen Magnetstab *S N*, Fig. 20, einem geschlossenen Drahtringe nähert und ihn durch denselben so hindurchführt, dass die Ebene des Ringes senkrecht zu der Achse des Magnetstabes *S N* bleibt.

Bei der Annäherung des Magnetpoles *S* gegen den Ring nähern sich alle Solenoidströme des Magnets, welche die auf demselben verzeichnete Richtung haben, dem Drahte;

es entsteht daher im letzteren so lange ein dieser Richtung entgegengesetzter Näherungsstrom, bis das Ende *S* des Magnetpoles in den Ring eintritt. Schiebt man den Magnet weiter vor, etwa bis *n*, so haben sich während dieser Bewegung alle zwischen *n* und *S* liegenden Ströme von dem Ringe entfernt, während sich die zahlreicheren zwischen *n*



Fig. 20.



Bewegung eines Magnets gegen einen Drahtring.

und *N* liegenden Ströme demselben noch immer genähert haben. Es entstanden also während der Bewegung gleichzeitig Entfernungsströme und stärkere Näherungsströme; letztere behielten das Uebergewicht, aber sie waren nicht mehr so stark, als vorher, wo sämmtliche Ströme von *S N* einen einzigen Näherungsstrom gaben.

Ist der Magnet bis zu seiner Mitte *m* durch den Ring gegangen, so werden sich bei weiterer Bewegung eben so viele Magnetströme vom Ringe entfernen, als sich deren ihm nähern; der Ring ist dann stromlos. Bei noch weiterem Vorschieben des Magnets, etwa so weit, bis *o* unter dem Ringe steht, haben die rechts vom Ringe befindlichen Entfernungsströme das Uebergewicht über die links liegenden Näherungsströme, und der Ring wird nun von einem dem

vorigen Strome entgegengesetzt gerichteten Entfernungsstrome durchflossen, der bei weiterem Vorschieben des Magnets an Stärke zunimmt und sein Maximum erreicht, wenn *N* im Ringe steht.

Dass die Bewegung des Drahtringes über den feststehenden Magnetstab hinweg dasselbe Resultat ergibt, versteht sich von selbst. Bewegt man den letztern gegen den Südpol *S* hin, so entsteht in ihm ein dem Magnet(Solenoid-)strom entgegengesetzter Näherungsstrom, wie er in dem Ringe durch einen Pfeil und unterhalb des Poles *S* durch den Pfeil 1 bezeichnet ist. Geht der Ring über *S* hinaus, etwa bis nach *n*, so nähert sich der Draht allen Solenoidströmen, die zwischen *n* und *N* liegen, entfernt sich aber von den wenigeren zwischen *n* und *S* liegenden Solenoidströmen. Es entsteht also in dem Ringe auf diesem Wege ein Inductionsstrom, der die Differenz ist zwischen dem Näherungsstrome und dem kleinern, dem Solenoidstrome gleichgerichteten Entfernungsstrome. Dieser Inductionsstrom hat daher noch die Richtung des bisherigen Stromes 1, aber eine geringere Intensität; wir können ihn daher mit dem etwas kleiner gezeichneten Pfeile 2 versinnbilden. Bei weiterer Bewegung des Drahtringes von *n* bis nahe an die Mitte *m*, die Indifferenzstelle des Magnets *S N*, nähert er sich noch immer einer Zahl von Solenoidströmen, die grösser ist als die Zahl derjenigen, von welchen er sich entfernt; der Inductionsstrom im Ringe ist daher immer noch überwiegend ein Näherungsstrom von der bisherigen Richtung, nimmt aber an Intensität beständig ab, je mehr mit der Annäherung des Ringes an die Mitte *m* die Zahlen der Solenoidströme, denen er sich nähert und von denen er sich entfernt, sich gleich kommen. Ueber der Indifferenzstelle *m* selbst ist daher die Stromstärke im Ringe gleich Null, und bei weiterer Bewegung desselben nach *N* hin tritt das Umgekehrte von obigem ein. Bei der Bewegung von *m* bis *o* ist die Zahl der rechts-

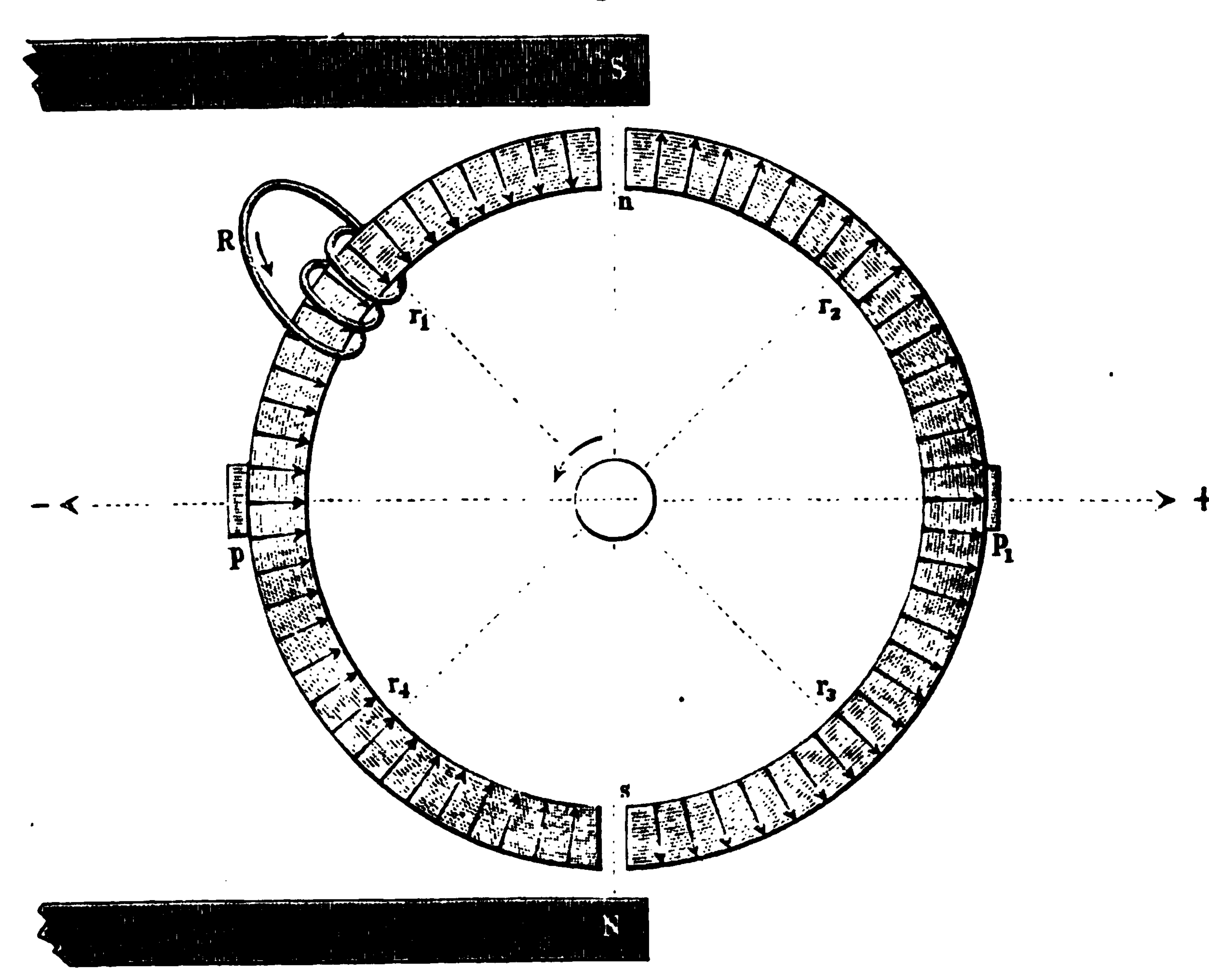
liegenden Ströme, von denen er sich entfernt, grösser als die der linksliegenden, denen er sich nähert. Der Entfernungsstrom ist jetzt über den Näherungsstrom überwiegend und das Resultat beider Wirkungen ist ein dem Solenoidstrome gleichgerichteter Entfernungsstrom, der auf dem Wege von *m* bis *N* seine Richtung unverändert beibehält und an Intensität in dem Maasse wächst, als der Ring sich dem Pole *N* nähert. Diese letzteren Ströme können wir daher der Richtung und Stärke nach mit den Pfeilen 4 und 5 versinnbilden.

Hiernach ist es nun nicht mehr schwer, den Vorgang der Inductionswirkungen in einem Ringe zu verstehen, welcher mit einer continuirlichen Drahtspule umwunden ist und in Folge der inducirenden Wirkung zweier sehr nahe an den Endpuncten eines Durchmessers stehender fester Magnetpole *S N* (Fig. 4) ebenfalls zwei diametral einander gegenüberstehende Pole *n s* hat, welche bei der Rotation des Ringes um seine Achse ihre Stelle im Raume nicht verändern.

10. Rotation eines mit einer continuirlichen Drahtspule umwundenen (des Gramme'schen) Ringes zwischen den Polen eines Magnets. Ist der Ring, der in Wirklichkeit an keiner Stelle unterbrochen ist, mit einem einzigen nirgend unterbrochenen Drahte spiralförmig umwickelt, so wird (Figur 21, s. f. S.) ein jeder Drahtring bei der Drehung des Eisenringes um die Achse alle Puncte des Umkreises in der Richtung p, r_1, n, r_2, p_1 u. s. w. der Reihe nach durchlaufen, er wird dabei stets an denselben Stellen des Raumes sowohl vor *S* und *N* vorbeigehen, als auch an denselben Stellen über die im Eisenkerne stets neu sich entwickelnden, aber unverändert stehen bleibenden inneren Pole *n s* hinweggehen, so dass die von diesen Polenpaaren auf die einzelnen Drahtringe ausgeübte Inductionswirkung dieselbe ist, als wenn der Eisenring feststehen bliebe und nur die Drahtspirale sich um ihren innern Eisenkern in der gedachten Richtung hinwegbewegte.

Der Einfachheit wegen nehmen wir statt der ganzen Spirale nur einen kleinen Theil derselben, eine kurze, aus einer oder ein paar Windungen bestehende Drahtrolle *R* an und lassen dieselbe, etwa von *p* aus, in der genannten Richtung p, r_1, n u. s. w. um den Eisenkern herumlaufen.

Fig. 21.

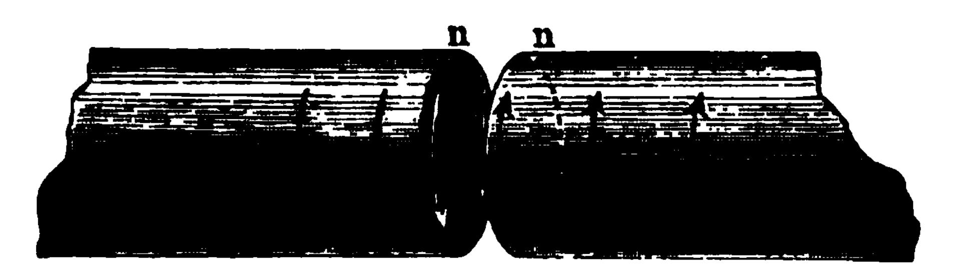


Stromlauf im Gramme'schen Ringe.

Den mit zwei Polen *n s* versehenen innern Ring denken wir uns des leichtern Verständnisses halber an diesen Polen entzwei geschnitten und die dadurch entstandenen Polflächen ein wenig aus einander gerückt, wie es in der Figur 22 deutlicher hervortritt. Es entstehen dadurch zwei halbkreisförmige Magnete, in denen die gleichnamigen Pole einander zugewandt sind. Wir stellen uns einen jeden dieser Magnete nach der *Ampère*'schen Theorie (§. 4) als ein System von parallelen, zur magnetischen Achse senkrecht stehenden

Strömen (Solenoid) vor, die in gleicher Stärke und in gleichen Abständen den Eisenkern umkreisen und eine solche Richtung haben, dass sie auf dem einem Beschauer zugewandten Südpole laufen wie die Zeiger einer Uhr, auf dem Nordpole also eine dem Uhrzeiger entgegengesetzte Richtung haben.

Fig. 22.



Die Solenoidströme um einen Doppelpol.

Wie die Figur 22 zeigt, haben diese Ströme auf einem Doppelpole, z. B. *n n*, und zu beiden Seiten desselben für einen zur Seite stehenden Beobachter auf einer und derselben Seite des Ringes entgegengesetzte Richtungen, und zwar diejenigen der Pfeile, wenn man sich nur die vordere, dem Beschauer zugekehrte Seite des Ringes vorstellt.

Wir wollen nun zuerst die Drahtrolle *R* (Fig. 21) nach einander in ihren Hauptlagen, in den Polstellen *n* und *s* und in den Indifferenzpuncten p und p_1 betrachten und annehmen, dass sie plötzlich aus ihrer Ruhelage in der angegebenen Richtung nur um ein äusserst kleines Stück fortbewegt werde; in diesem Falle wird sich *R* den vor ihr liegenden Solenoidströmen nähern, aber sich von den hinter ihr liegenden Solenoidströmen entfernen, und die Intensität der durch diese Bewegung entstehenden Inductionsströme (Näherungs- und Entfernungsströme) wird abhängig sein von der Zahl und von der Richtung der vor und hinter der Rolle angenommenen Solenoidströme.

Um unsere Betrachtung noch mehr zu vereinfachen, wollen wir bei der kleinen Bewegung der Rolle *R* den inducirenden Einfluss nur bei denjenigen Solenoidströmen in Erwägung

ziehen, welche sich zu beiden Seiten der Rolle auf eine Entfernung von 90° erstrecken, die weiter entfernten, im entgegengesetzten Halbkreise liegenden Solenoidströme dagegen vernachlässigen, weil sie bei ihrer grösseren Entfernung von der Rolle nahezu ohne Einfluss sind. Man gelangt übrigens in Bezug auf die Richtung der erzeugten Inductionsströme zu denselben Resultaten, gleichviel ob man die zuletzt genannten entfernteren Magnetströme mit in Rechnung bringt oder nicht. Die vier Abstände pn, np_1, p_1s, sp theilen wir wieder nur der Einfachheit wegen in gleiche Theile und betrachten dann die Rolle R auch in diesen, von den Hauptpuncten um 45° entfernten Lagen r_1, r_2, r_3, r_4. Auf diese Weise entstehen acht Abschnitte in dem Kreisumfange des Magnetringes, von denen ein jeder gleich viele, aber keineswegs immer gleichgerichtete Solenoidströme enthält.

Durch die sehr klein gedachte Bewegung der Drahtrolle aus ihrer Ruhelage entsteht eine elektromotorische (inductive) Wirkung der Solenoidströme auf den Draht der Rolle, so dass in demselben ein galvanischer Strom entsteht. Diese elektromotorische Kraft der Solenoidströme einer jeden der acht Abtheilungen nennen wir e, wenn diese Ströme an die Rolle angränzen, dagegen e_1, wenn sie um 45° von der Rolle entfernt liegen. Wir bezeichnen ausserdem die Richtung des positiven Inductionsstromes der Rolle R mit +, wenn er in dem dem Beschauer zugekehrten Theile des Drahtes (in der Figur voll gezeichnet) die Richtung von der Aussenseite des Eisenringes nach dem Mittelpuncte hin hat, dagegen geben wir dem positiven Inductionsstrome das Zeichen —, wenn er demselben Drahttheile die Richtung von innen nach aussen, oder vom Mittelpuncte abgewendet hat. Dem entsprechend bezeichnen wir auch die genannten elektromotorischen Kräfte der Solenoidströme e und e_1 mit + oder —, je nachdem sie in der Rolle einen positiven Inductionsstrom nach dem Mittelpuncte des Ringes

hin oder vom Mittelpuncte nach aussen erzeugen. Wir erinnern daran, dass nach §. 7 die inducirten Näherungsströme dem inducirenden Solenoidstrome entgegengesetzt, die Entfernungsströme dagegen dem letztern gleichgerichtet sind.

1) Befindet sich die Rolle R in dem Indifferenzpuncte p, der Mitte zwischen n und s, und wird sie in der Richtung $s\,p\,n$ ein wenig nach n hingebracht, so entfernt sie sich von allen Solenoidströmen, die zwischen p und s liegen, und nähert sich zugleich eben so vielen gleichgerichteten Solenoidströmen, die zwischen p und n liegen. Die elektromotorischen Kräfte aller zu beiden Seiten der Rolle im halben Umkreise liegender Solenoidströme wird daher nach der angenommenen Bezeichnungsweise sein $+ e_1 + e - e_1 - e$ oder Null. Die Rolle R erhält daher bei ihrem Durchgange durch die Indifferenzstelle p keinen Strom; in diesem Puncte angekommen, ist sie stromlos. Dasselbe gilt offenbar für den Fall, dass sie die Indifferenzstelle p_1 passirt.

2) Befindet sich die Rolle genau über dem Doppelpole n und erhält sie dann eine kleine Bewegung nach rechts hin, so entfernt sie sich von den links zwischen n und p liegenden und nähert sich gleich vielen rechts zwischen n und p_1 liegenden entgegengesetzten Solenoidströmen. Die elektromotorische Kraft sämmtlicher zwischen $p\,n\,p_1$ befindlicher Solenoidströme ist daher $+ e_1 + e + e + e_1 = 2\,e + 2\,e_1$; der durch diese Summe der elektromotorischen Kräfte entstehende Inductionsstrom hat, wie sich sogleich ergeben wird, die grösste Intensität, welche er bei jeder Bewegung der Drahtrolle auf dem ganzen Wege des Ringumfanges erreichen kann. Die Richtung dieses maximalen Stromes ist $+$, d. h. in den dem Beschauer zugekehrten vorderen Drahttheilen der Rolle hat der Inductionsstrom die Richtung von aussen nach dem Mittelpuncte des Ringes hin, wie es auf der ersten Windung der Rolle angedeutet ist.

3) Befindet sich die Rolle genau über dem Doppelpole s und bewegt sie sich in derselben Richtung wie vorhin eine sehr kleine Strecke weiter, so entfernt sie sich von allen zwischen s und p_1 liegenden, und nähert sich ebenso vielen entgegengesetzten zwischen s und p liegenden Solenoidströmen. Die elektromotorische Kraft aller dieser Magnetströme ist daher $- e_1 - e - e - e_1 = - 2\,e - 2\,e_1$. Der durch diese elektromotorischen Kräfte erzeugte Inductionsstrom hat daher dieselbe Intensität, wie auf dem Doppelpole n, aber seine Richtung ist in den vorderen dem Beschauer zugekehrten Drahttheilen die entgegengesetzte und zwar vom Mittelpuncte weg.

4) Steht die Rolle in der Mitte r_1 zwischen der Indifferenzstelle p und dem Pole n, so treten bei einer kleinen Bewegung derselben nach n hin die zwischen r_4, r_1, r_2 liegenden Magnetströme in Wirksamkeit. Die Rolle entfernt sich von allen zwischen r_1 und r_4 liegenden Strömen, woraus eine elektromotorische Kraft gleich $+ e_1 + e$ resultirt; sie nähert sich aber allen zwischen r_1 und r_2 liegenden Magnetströmen, von denen die erste Hälfte die Richtung nach dem Mittelpuncte hin, die andere Hälfte die entgegengesetzte Richtung hat; die hieraus entstehende elektromotorische Kraft ist daher $- e + e_1$. Mithin ist die ganze elektromotorische Kraft, welche in diesem Falle auf die Rolle wirkt, gleich $+ e_1 + e - e + e_1$ oder $+ 2\,e_1$. Die Rolle erhält also bei ihrem Durchgange durch den Punct r_1 einen Strom, der dieselbe Richtung hat wie der Strom, welcher auf dem Pole n inducirt wird, dessen Intensität jedoch kleiner ist, als die des letzteren. Es ergibt sich aus der Anschauung der Figur sofort, dass die Grösse der elektromotorischen Kräfte e und e_1 von der Anzahl der wirksamen Solenoidströme abhängig ist, und dass der durch die elektromotorische Kraft $+ 2\,e_1$ erzeugte Inductionsstrom um so stärker wird, je mehr die Rolle sich dem Doppelpole n nähert.

5) Befindet sich die Rolle R in r_2, der Mitte zwischen n und p_1, so sind bei ihrer nächsten Drehung nach p_1 hin die Magnetströme zwischen den Puncten r_1, r_2, r_3 in Betracht zu ziehen. Die Rolle entfernt sich von allen zwischen r_1, r_2 liegenden Solenoidströmen und nähert sich allen zwischen r_2 und r_3 liegenden Strömen; die gesammte aus dieser Bewegung der Rolle resultirende elektromotorische Kraft setzt sich daher zusammen aus $+ e_1 - e + e + e_1 = + 2\, e_1$. Der hierdurch erzeugte Inductionsstrom hat also wieder dieselbe Richtung wie auf dem Pole n; ausserdem hat dieser Strom die gleiche Intensität mit dem im Puncte r_1 erzeugten Strome.

Aus den vorstehenden Erörterungen ergibt sich sonach, dass, wenn man die Rolle R von p aus über die Puncte r, n, r_2 bis p_1 des polarisirten Eisenringes schiebt, ununterbrochen ein Inductionsstrom erzeugt wird, der bei p Null ist, dann immer stärker wird und über dem Pole n am stärksten ist, der dann wieder abnimmt und bei p_1 abermals Null ist. Dieser Strom behält während der ganzen Dauer der Bewegung von p über n bis p_1 seine Richtung unverändert bei, und zwar in den dem Beschauer zugekehrten Drahttheilen der Rolle nach dem Mittelpuncte des Eisenringes hin.

6) Ist bei fortgesetzter Drehung die Rolle in r_3 angekommen, so sind bei der ferneren nächsten Bewegung die Solenoidströme zwischen r_2, r_3, r_4 in Wirksamkeit; die elektromotorische Kraft derselben ist dann $- e_1 - e + e - e_1 = - 2\, e_1$; der Inductionsstrom der Rolle hat nun die entgegengesetzte Richtung wie vorhin und circulirt in den vorderen Drahttheilen der Rolle in der von der Achse abgekehrten Richtung. Die Intensität des Stromes ist dieselbe wie in den Puncten r_1 und r_2.

7) Steht endlich die Rolle im Puncte r_4 mitten zwischen p und s, so sind die von den Solenoidströmen zwischen

r_3, r_4, r_1 entwickelten elektromotorischen Kräfte offenbar $+ e - e_1 - e_1 - e = - 2 e_1$. Der Inductionsstrom der Rolle behält also seine Richtung bei, die er bereits in r_3, s und r_4 besass, und seine Intensität ist wieder dieselbe, wie in den Puncten r_1, r_2 und r_3.

Es ergibt sich hieraus, dass, wenn man die Rolle R von p_1 aus über die Puncte r_3, s, r_4 bis p des polarisirten Eisenringes hinweg schiebt, ebenfalls ununterbrochen ein Inductionsstrom erzeugt wird, der bei p_1 Null ist, dann immer stärker wird und über dem Pole s am stärksten ist, der dann aber wieder abnimmt und bei p abermals Null ist. Dieser Strom behält während der ganzen Dauer der Bewegung von p_1 über s bis p seine Richtung unverändert bei, und zwar in den dem Beschauer zugekehrten Drahttheilen von dem Mittelpuncte des Eisenringes hinweg nach aussen hin. Fassen wir diese Ergebnisse unserer Untersuchung in Bezug auf den Vorgang der Inductionswirkung während einer ganzen Umdrehung der Drahtrolle zusammen, so kommen wir zu folgendem Resultate:

In dem magnetischen Indifferenzpuncte des Eisenringes ist die Rolle stromlos; gleich darauf beginnt der Inductionsstrom aufzutreten, anfangs von geringer Intensität, dann immer stärker werdend, bis er auf dem Pole das Maximum seiner Intensität erreicht; letztere nimmt dann wieder ab, um auf dem zweiten magnetischen Indifferenzpuncte wieder Null zu werden. Während dieser Zeit bleibt die Richtung des Stromes unverändert dieselbe. Gleich darauf wechselt der nun wieder auftretende Strom seine Richtung; er erreicht immer stärker werdend über dem zweiten Pole des Eisenringes das zweite Maximum seiner Intensität, nimmt dann wieder ab und wird bei der ersten Indifferenzstelle, von welcher die Rolle ausgegangen war, wieder Null.

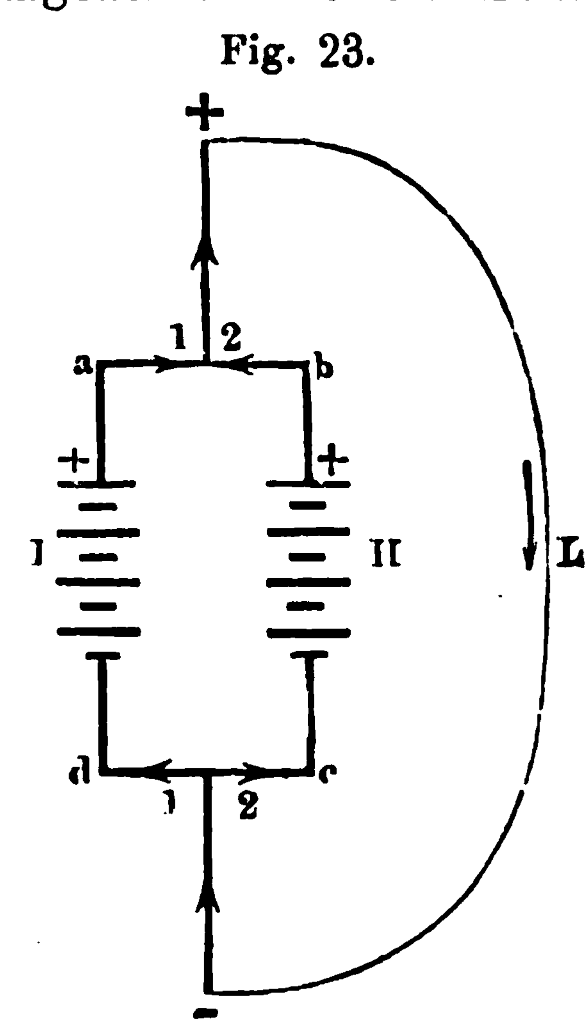
Was wir in dem Vorherigen von der Drahtrolle R gesagt haben, gilt auch von jeder anderen, mit welcher der Eisen-

ring besetzt ist, und wir gewinnen nun sofort eine klare Anschauung dessen, was geschieht, wenn der ganze Ring von einer fortlaufenden Reihe solcher Drahtspulen umgeben ist, welche alle derart mit einander verbunden sind, dass sie eine einzige nirgendwo unterbrochene metallische Leitung darstellen, in welcher es keinen Anfangspunct und keinen Endpunct gibt. Die Inductions-Erscheinungen sind in Bezug auf die Richtung der sich entwickelnden Ströme dieselben, mag man dieses lose Drahtgewinde um den feststehenden polarisirten Eisenring herumlaufen lassen oder den Eisenring mit dem fest darauf gewickelten Drahte um seine Achse drehen. Die Doppelpole des Ringes behalten in beiden Fällen ihre unveränderte Lage im Raume und zu allen auf dem Ringe befindlichen Drahtrollen, wenn letztere in grosser Zahl sich dicht aneinanderschliessen. In einer einzelnen Drahtspule treten bei ihrem Umlaufe um den Eisenkern die vorhin beschriebenen Inductionsströme nacheinander auf; bei den zahlreich auf dem Eisenkern aufgewundenen Spulen finden sie gleichzeitig statt. Während über jeder der beiden Doppelpole in jedem Augenblicke eine Spule hinweggeht und hier die grösstmöglichen Ströme von entgegengesetzter Richtung empfängt, befinden sich gleichzeitig andere Spulen in allen möglichen anderen Lagen zu diesen Polen. In allen Spulen, welche sich auf der einen Seite des durch die magnetischen Indifferenzpuncte gezogenen Durchmessers des Ringes befinden, entstehen gleichzeitig Inductionsströme von einer und derselben Richtung, aber von verschiedener Stärke, welche sich summiren und einen einzigen Strom dieser Richtung bilden; in allen Spulen, welche sich auf der entgegengesetzten Seite dieses Durchmessers befinden, entstehen gleichzeitig mit diesem Strome Inductionsströme von ungleicher Stärke, die ebenfalls unter sich dieselbe Richtung haben, den vorigen Strömen aber entgegengesetzt sind. Auch diese Ströme summiren sich und stellen einen einzigen Strom

dar, welcher dem vorigen Strome entgegengesetzt ist. Da nun die Spulen der einen Hälfte des Ringes mit denen der zweiten Hälfte eine ununterbrochene Leitung bilden, so heben diese beiden gleichzeitig entstehenden, gleich starken und entgegengesetzt gerichteten Stromsysteme einander auf und es circulirt bei der Drehung des Ringes um seine Achse kein Strom in seiner Drahtwindung. [1])

Nichts desto weniger bleiben die elektromotorischen Kräfte oder die inducirenden Wirkungen der Solenoidströme auf die Drahtwindungen des Ringes während der Rotation desselben beständig in Thätigkeit. Es ist ganz so, als wenn man die gleichnamigen (+) Pole zweier gleich starker galvanischer Batterien I und II (Fig. 23) mit einander verbindet; ungeachtet die elektromotorischen Kräfte dieser Batterien wirksam sind, heben sich doch die dadurch erzeugten Ströme in ihrer Wirksamkeit gegenseitig auf, und es ist ausserhalb der Batterien, z. B. in dem Schliessungsdrahte + *a b* +, kein Strom wahrzunehmen. Dennoch lassen sich die elektromotorischen Kräfte dieser beiden Batterien ausnutzen; man braucht zu diesem Zwecke nur die untereinander verbundenen gleichnamigen Pole, also je einen Punct der Drähte *a b* und *c d*, durch einen gemeinschaftlichen Schliessungsdraht *L* zu verbinden und erhält

Fig. 23.



Zwei auf Quantität gekuppelte Batterien.

[1]) Die directe Einwirkung der äusseren festen Magnetpole auf die rotirenden Drahtspulen bleibt einstweilen ausser Betracht; ebenso die durch die Verschiebung der inducirten Pole des Ringes in dem Eisen erzeugte molekulare Veränderung.

dann in dieser Leitung einen Strom in der Richtung des beigesetzten Pfeiles. Man sagt bekanntlich von einer solchen Batterie-Verbindung, dass man sie auf Quantität gekuppelt habe, während man die hintereinander erfolgende Verbindung der einzelnen Elemente einer Batterie die Kuppelung auf Intensität oder Spannung nennt.

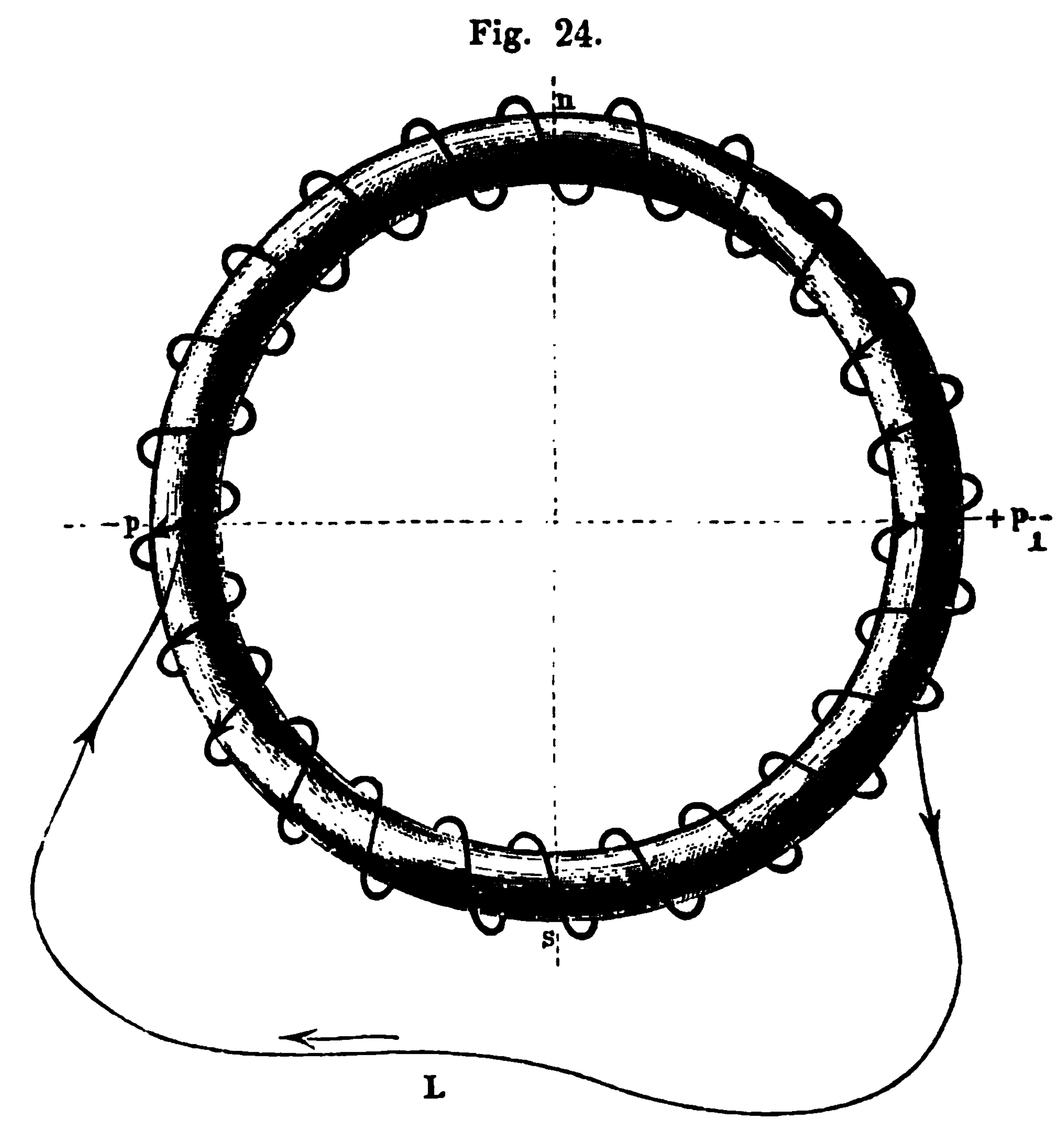
Ganz dasselbe kann mit dem Ringe geschehen, indem die beiden Stromsysteme, welche in den einzelnen hintereinander auf Spannung gekuppelten Drahtrollen jeden Halbringes als Summenströme von entgegengesetzter Richtung auftreten, in ihren auf den Indifferenzstellen liegenden Puncten durch Verbindung dieser Stellen mittelst eines Schliessungsdrahtes nach aussen abgeleitet werden. Es wird dieses sofort durch die Abbildung (Fig. 24, s. f. S.) klar werden.

In dieser Figur ist der Eisenring mit einer ununterbrochen fortlaufenden Spirallinie umgeben, von welcher wir wie bisher annehmen wollen, dass der voll ausgezeichnete Theil dieser Linie dem vor der Ringfläche stehenden Beschauer zugewandt sei. Die im Innern des Ringes liegenden inducirten Magnetpole seien wieder n und s, die magnetischen Indifferenzstellen p und p_1. Jede einzelne Windung der Spirallinie soll eine ganze Drahtspule bezeichnen, so breit, dass alle Spulen dicht aneinanderschliessen, und so gewunden, dass der Endpunct jeder vorhergehenden Spule mit dem Anfangspuncte der nächstfolgenden verbunden ist und der ganze Drahtverlauf über alle Theile des Ringes eine und dieselbe Richtung hat. Durch die bei der Drehung des Ringes zwischen den beiden dicht über n und s liegenden festen Magnetpolen, die hier nicht gezeichnet sind, wird dann in den Spulen des oberhalb des Durchmessers p p_1 liegenden Ringtheiles ein Strom erzeugt, dessen Richtung nach dem Mittelpuncte hingerichtet und durch die in den Spiraldrähten eingezeichneten Pfeile angegeben ist. Ebenso entsteht in den unterhalb dieses Durchmessers liegenden Drahtspulen

ein Strom, dessen entgegengesetzte Richtung ebenfalls durch Pfeile angedeutet ist.

Beide Ströme heben sich als gleich stark auf, so lange sie nicht nach aussen abgeleitet werden. Auf den Indifferenz-

Fig. 24.



Der Stromlauf in dem Gramme'schen Ringe.

stellen begegnen sich dieselben, wie in der Fig. 23 zwischen den mit *a* und *b* resp. *c* und *d* bezeichneten entgegengesetzten Pfeilspitzen; verbindet man diese Treffpuncte der entgegengesetzten Ströme durch einen Leitungsdraht *L*, so findet nun eine Circulation beider Stromsysteme durch *L* statt, und zwar in folgender Weise. Bei p_1 begegnen sich in irgend einem Puncte (*a*, *b*) die Ströme von oben und von unten her, ergiessen sich in den mit diesem Puncte metallisch verbundenen Schliessungsdraht *L*, laufen in der Richtung des beigesetzten Pfeiles durch diesen Draht, gelangen

bei *p* auf dem gemeinsamen Treffpuncte (*c*, *d*) wieder auf das Drahtgewinde, spalten sich hier nach oben und nach unten hin wieder in die beiden zuerst genannten Stromsysteme und bilden so während der ganzen Dauer der Rotation einen continuirlichen und constanten Strom, der ausserhalb der Maschine in der Leitung *L* eine unveränderliche Richtung hat. Die Indifferenzstellen erscheinen hierbei als die beiden Pole (+ und —) zweier auf Quantität gekuppelter galvanischer Batterien, von denen jede einzelne aus ebenso vielen auf Spannung gekuppelten Elementen besteht, als Drahtspulen auf einem Halbringe vorhanden sind.

Die Stromstärke ist nicht, wie bei der Bewegung einer einzelnen Drahtrolle, in den verschiedenen Theilen des Ringes verschieden, sondern in allen Drahttheilen von gleicher Stärke, und zwar gleich der Summe aller von den einzelnen Spulen erzeugten Ströme, weil in jedem Momente diese alle gleichzeitig entstehen.

Die Stetigkeit und Constanz dieses Gesammtstromes rührt davon her, dass bei der raschen Rotation des Ringes, welche auf 800 bis 2000 Touren per Minute gesteigert werden kann, jede einzelne Spule sofort in die Lage der vorhergehenden einrückt, und daher trotz des beständigen Wechsels oder des Ueberganges einer bestimmten Stromstärke von einer Spule zur nachfolgenden doch der aus allen einzelnen Spulströmen sich zusammensetzende Gesammtstrom keine Veränderung weder in der Continuität noch in der Stärke erleidet. Die Drahtwindung des Ringes wird daher bei hinlänglich grosser Geschwindigkeit der Drehung so lange von einem continuirlichen und constanten Strome durchlaufen, als diese Geschwindigkeit selbst constant bleibt.

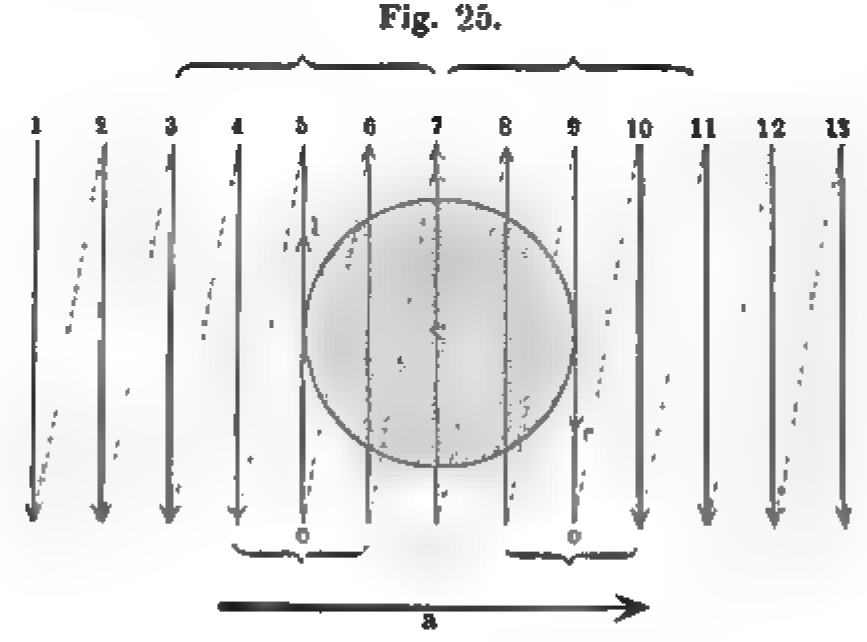
Je grösser diese Geschwindigkeit ist, desto mehr Elektricität wird von den Solenoidströmen in der Zeiteinheit erzeugt, und desto grösser ist auch der Gesammtstrom in den Windungen des Ringes und in der Leitung ausserhalb

der Maschine, weil diese Menge der erzeugten Elektricität den Querschnitt des Drahtes in der Zeiteinheit passiren muss. Versuche haben ergeben, dass die elektromotorische Kraft der Geschwindigkeit der Drehung proportional ist.

In dem Vorstehenden haben wir bloss den Einfluss des polarisirten Eisenkerns mit seinen zwei Doppelpolen und seinen beiden Indifferenzstellen in Betracht gezogen; es bleibt noch übrig, zu untersuchen, welchen Einfluss die äusseren festen Magnetpole unmittelbar auf die Drahtspulen ausüben. Zu diesem Zwecke denken wir uns den Eisenkern aus den ihn umgebenden Drahtrollen entfernt und diese allein wie in der bisher angenommenen Richtung um die gemeinschaftliche Achse gedreht.

S (Figur 25) sei der Südpol des ausserhalb der Drahtspulen stehenden festen Magnets, den wir uns vertical auf-

Fig. 25.



Bewegung der Drahtspule unter einem Magnetpole.

recht und senkrecht zur Ebene des Papiers denken. In diesem Falle liegen unterhalb und in der unmittelbaren Nähe dieses Poles die oberen und unteren Windungen der Drahtrollen wagerecht oder in der Ebene des Papiers. Es stellen die Linien 1, 2 .... 13 die in der Wirklichkeit dicht nebeneinander liegenden oberen, dem Pole *S* zugekehrten Win-

dungen einer oder mehrerer Drahtspulen dar; die unteren Hälften dieser Windungen sind nicht gezeichnet und man muss sich die gezeichneten oberen Hälften mit den entsprechenden unteren Drahttheilen vereinigt und zu einer zusammenhangenden Spirale verbunden denken, welche sich links und rechts an die übrigen Drahtspulen anschliesst, wie es durch die punctirten Linien angedeutet ist. Wir nehmen an, dass die Windungen gleich weit von einander abstehen, dass 7 durch den Mittelpunct des Poles *S* geht und dass 6 und 8, 5 und 9, 4 und 10, 3 und 11, 2 und 12 gleich weit von diesem Mittelpuncte entfernt sind, was ja auch in der Wirklichkeit bei der Rotation der Drahtspiralen der Fall ist. Der Pfeil *a* gibt die Richtung der Bewegung an.

Den Magnet betrachten wir wieder nach *Ampère* als ein System von Solenoidströmen; es circuliren dann diese Ströme auf der den oberen Drahtwindungen 1, 2... nach unten zugekehrten Südpolfläche *S* wie der Zeiger einer Uhr, was durch die beigesetzten Pfeile *l r* angedeutet ist. Bei der Bewegung der Drahtwindungen in der Richtung des Pfeiles *a* kommen offenbar zumeist nur diejenigen seitlichen Theile des Solenoidstromes zur inducirenden Wirkung, welche parallel zu den Drahtstücken, 1, 2... laufen, weil die anderen, z. B. die im Abstande von 90° senkrecht zu diesen Drahttheilen laufenden oberen und unteren Theile auf dieselben Drahtstücke zwei einander entgegengesetzte Wirkungen ausüben und daher in ihrer Gesammtwirkung sich aufheben.

Wenn die blossen Drahtspulen ohne innern Eisenkern unter dem Pole *S* wegrotiren, so übt letzterer auch auf die unteren nicht gezeichneten Drahtwindungen, welche die Fortsetzung der Drahttheile 1, 2... bilden, eine inducirende Wirkung aus, und zwar von derselben Art wie auf die oberen; beide Wirkungen würden sich aufheben, wenn sie gleich stark wären. Da dieses in der Wirklichkeit nicht der Fall

ist, vielmehr die Inductionsströme in den oberen, dem Pole *S* am nächsten stehenden Drahttheilen 1, 2 ... stärker sind als die Ströme der unteren Windungen, so ist das Resultat der inducirenden Wirkung des Pols *S* auf die unter ihm weglaufenden Drahtrollen ein Differenzstrom, der um so schwächer sein wird, je näher die genannten oberen und unteren Drahttheile einander stehen oder je flacher die Drahtrollen sind. Wir haben uns daher nur noch mit den in der Figur gezeichneten oberen Drahttheilen 1, 2 ... zu beschäftigen. Wenn diese sich in der Richtung des Pfeiles *a* unter dem Pole *S* fortbewegen, so nähern sich alle Drähte 1 ... 4, die links von *S* liegen, dem Solenoidstrome *l* und erhalten einen der Richtung *l* entgegengesetzten Inductionsstrom, der in 1 ... 4 durch die untere Pfeilspitze angedeutet ist. Diese Drähte nähern sich zwar auch dem Solenoidstrome *r* und erhalten dadurch einen entgegengesetzten Inductionsstrom; aber der Einfluss des Stromtheiles *l* ist wegen der grösseren Nähe grösser als der des Stromtheiles *r*, und das Resultat ist wieder ein Differenzstrom von der durch die unteren Pfeile in 1 ... 4 angegebenen Richtung.

Die Drähte 10, 11, 12, 13 entfernen sich sämmtlich von den Solenoidströmen *r* und *l*, wobei *r* überwiegend wirksam ist; das Resultat dieser Bewegung ist ein mit *r* gleichgerichteter Differenzstrom, dessen Richtung durch die in 10 ... 13 unten gezeichneten Pfeilspitzen angegeben ist. Es ist klar, dass die Ströme in den Drähten 1, 2, 3, 4 und in 10, 11, 12, 13 eine und dieselbe Richtung haben, und zwar in den vorderen seitlichen Drahttheilen, welche dem gegen die Ringfläche schauenden Beobachter zugekehrt sind, von auswärts nach dem Mittelpuncte der Drehung hin.

Anders gestaltet sich die Sache für die Drahttheile 6, 7, 8, welche die Polfläche *S* erreicht haben und dieselbe bestreichen. Draht 6 entfernt sich von dem Solenoidstrome

l und nähert sich r; der Entfernungsstrom aber ist überwiegend und hat dieselbe Richtung wie der Strom $\dot{l}$; er ist in 6 oben durch die Pfeilspitze angegeben und hat eine dem benachbarten Strome 4 entgegengesetzte Richtung. Wenn, wie angenommen, 4 und 6 von l gleich weit entfernt sind, haben sie sehr nahe eine gleiche Intensität und heben sich auf. Dasselbe geschieht mit den Strömen 8 und 10, von denen ersterer das Resultat der Entfernung von l und der Annäherung an r ist. Zwischen 4 und 6 und wieder zwischen 8 und 10 tritt ein Stromwechsel ein, wobei für einen Moment in den betreffenden Drahttheilen 5 und 9 der Strom gleich Null ist. Der durch die Mitte des Poles S gehende Draht 7 entfernt sich von l, während er sich gleichzeitig r nähert; das Resultat dieser Bewegung ist daher ein Summenstrom in der Richtung, welche durch die beiden Pfeilspitzen in 7 angedeutet ist. Bei gleicher Entfernung der Drähte 3 und 7 von l und der Drähte 11 und 7 von r sind die Einzelströme des in 7 erzeugten Summenstromes einander nahe gleich und entgegengesetzt und heben sich auf. Es ist daher in sämmtlichen zwischen l und r sich bewegenden Drahtwindungen der Strom gleich Null.

In dem Vorstehenden ist bloss die inducirende Wirkung der beiden den Drähten parallelen Solenoidströme l und r in Betracht gekommen, während doch auch die übrigen am Umfange des Kreises rechts und links von l und r liegenden Solenoidstromtheile, mit Ausnahme der beiden zu den Drähten senkrecht stehenden Ströme, wirksam sind. Will man auch diese seitlichen Ströme in Betracht ziehen, so zerlege man jeden Strom in zwei Seitenströme, von denen die eine Componente senkrecht, die andere aber parallel zu den Drähten ist. Der erstere Strom ist unwirksam, der andere aber wirkt in gleichem Sinne wie l oder r, je nachdem der zerlegte Strom links oder rechts von dem durch den Mittelpunct des Poles S gehenden Drahte 7 liegt.

Wir können hiernach das Ergebniss der directen Einwirkung des festen Poles *S* auf die blossen unter ihm weglaufenden Drahtspulen dahin zusammenfassen, dass in allen dem Pole *S* sich annähernden und in allen sich von ihm entfernenden Windungen ein schwacher Inductionsstrom entsteht. Vergleicht man die Richtung dieses durch die Pfeilspitzen in 1, 2 . . . 13 angedeuteten Stromes mit dem früher besprochenen Strome, der durch die Induction der inneren im rotirenden Eisenkern liegenden Pole erzeugt wird, so findet man sofort, dass beide Ströme in den gleichliegenden Theilen der den Eisenkern umgebenden Drahtspulen eine und dieselbe Richtung haben und sich daher unterstützen. Dass der zweite feste Pol *N*, welcher dem Pole *S* diametral gegenüber steht, in gleicher Weise wirkt, ist leicht einzusehen.

Unsere letztere Untersuchung geht davon aus, dass die rotirenden Drahtspulen keinen innern Eisenkern enthalten und daher der äussere Pol *S* nicht bloss auf die ihm zunächst liegenden oberen Windungen 1, 2 . . . 13, sondern auch auf die um 180° davon entfernt liegenden unteren Drahttheile inducirend einwirkt.

Das Resultat beider Wirkungen war ein Differenzstrom. In der Wirklichkeit aber, wo der eiserne Kern in den Drahtspulen vorhanden ist, verhindert das entgegengesetzte polarisirte Eisen die directe Einwirkung der äusseren festen Pole auf die unteren, entfernt von ihnen liegenden Theile der Drahtspulen, und es ist klar, dass dadurch der Einfluss dieser Pole auf die oberen, ihnen zunächst liegenden Drahttheile fast zur vollen Wirkung gelangt und der Gesammtstrom bedeutend verstärkt wird.

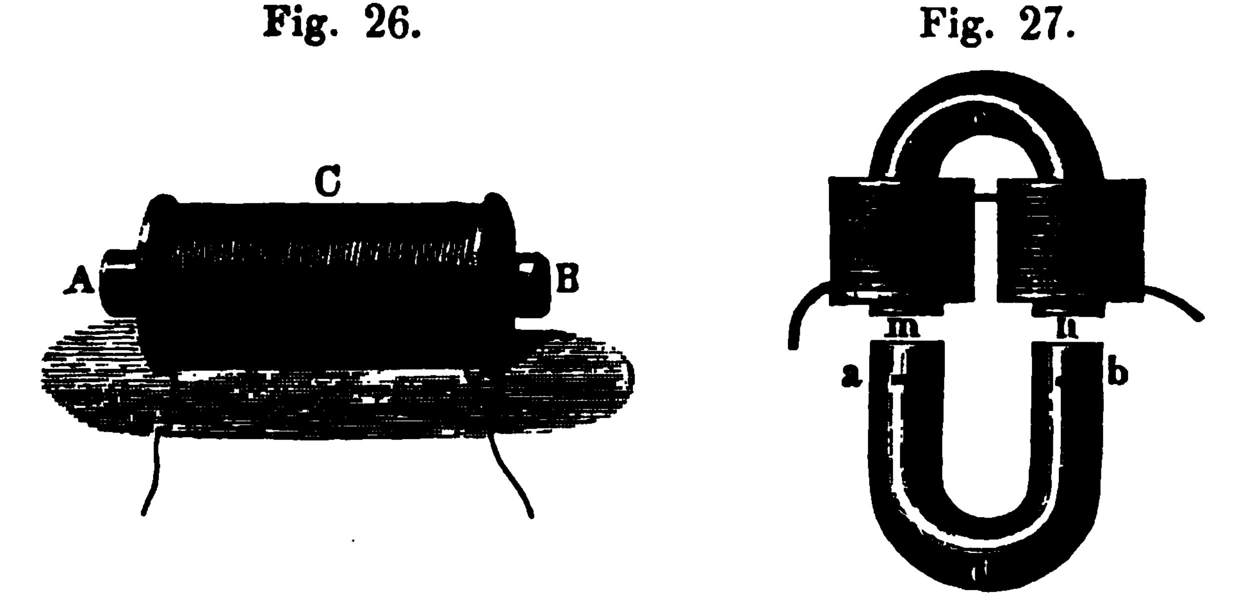
Nach *Gramme* liegt auch in dem Umstande, dass sich durch die Einwirkung des weichen Eisenkerns die magnetische Wirkung des permanenten äussern Magnets mehr auf einen Punct concentrirt und dadurch die inducirende Kraft

erheblich grösser wird, ein wesentliches Moment zu der Verstärkung des Gesammtstromes in seiner Maschine.

Ausser diesen einfacheren Vorgängen, welche durch die Rotation des mit Drahtspulen umgebenen Eisenringes zwischen den äusseren Magnetpolen in den Drahtrollen auftreten, gibt es noch eine Reihe von Erscheinungen, welche aus den zum Theil sehr verwickelten Einwirkungen herrühren, welche die Drähte auf einander und rückwärts auf die Pole ausüben. Wir vermeiden aber diese nebensächlichen Erörterungen, da sie uns zu weit von dem Zwecke dieser Abhandlung abführen und an dem Gesammtergebnisse unserer Untersuchung nichts Wesentliches ändern.

11. Rotation eines Inductors über den Polen eines Magnets. Umgibt man ein stabförmiges Stück *A B* (Fig. 26) weichen Eisens mit einer Drahtrolle *C*, oder auch die Enden *m* und *n* (Fig. 27) eines hufeisenförmig gebogenen Stückes

Fig. 26. Fig. 27.



Der Inductor.

weichen Eisens *c* mit entsprechenden Drahtrollen, so nennt man diese Vorrichtung einen Inductor, sobald sie den Zweck hat, dass inducirte Ströme in der geschlossenen Drahtrolle erzeugt werden.

Anstatt nun, wie in §. 8 (Fig. 19), einen Magnet in die Drahtrolle hineinzustecken oder daraus zu entfernen, kann man auch den durch die Bewegung des Magnets erzielten Einfluss auf die Drahtrolle dadurch herbeiführen, dass man

den Inductor *m n* einem Magnet *d* schnell nähert oder davon entfernt. Wenn man nämlich das weiche Eisen *c* einem Magnet *a b* nähert, so wird es durch Vertheilung selbst magnetisch (§. 2); der gleichsam schlummernde Magnetismus wird plötzlich erregt, oder vielmehr die Moleküle des Eisens gerathen in Bewegung und ordnen sich in diejenige Form, in welcher wir das Eisen magnetisch nennen; es bringt dann die Annäherung der Eisenkerne *m* und *n* an die Magnetpole *a* und *b* ganz dieselbe Wirkung hervor, als wenn ein Stahlmagnet gegen die Drahtrolle hin bewegt worden wäre.

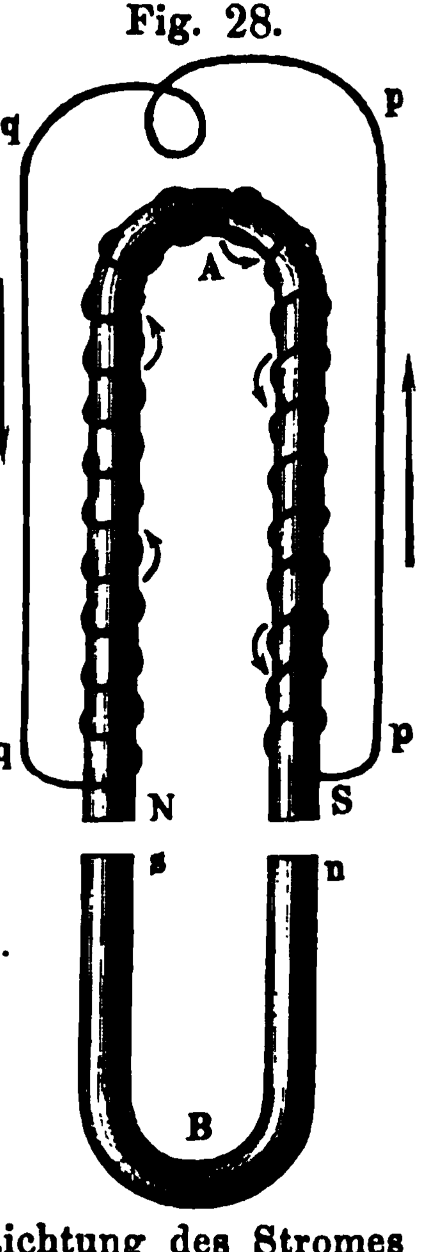
Durch die Entfernung des weichen Eisens *c* von dem Magnet *a b* verliert letzteres den Magnetismus wieder, und es bringt daher die Entfernung der umwickelten Eisenkerne *m, n* von den Polen *a*, *b* dieselben Erscheinungen hervor, die bei der Entfernung eines Stahlmagnets von einer Drahtrolle entstehen.

Ertheilt man daher dem Inductor *c* eine rotirende Bewegung, so dass die Enden *m*, *n* des Eisenkerns sehr nahe an den Polen *a*, *b* des feststehenden Stahlmagnets vorüber rotiren, so wird, wenn die Windungen des Drahtes, wie in Fig. 27, auf beiden Schenkeln dieselbe Richtung haben und geschlossen sind, wenn ferner das Ende *n* von dem Pole *b*, und *m* von *a* sich wegbewegt, die Entfernung der Rolle *n* von dem Südpole *b* einen Inductionsstrom in dem Schliessungsdrahte hervorrufen, welcher dieselbe Richtung hat wie derjenige, der aus der Entfernung der Rolle *m* von dem Nordpole *a* entsteht.

Um hiervon eine klare Anschauung zu erhalten, vergegenwärtige man sich die Art der Drahtwindungen auf beiden Schenkeln eines Elektromagnets (§. 1); denn die Richtung der Windungen eines Inductors (Fig. 27) stimmt mit dem Verlaufe des Umwindungsdrahtes in einem Elektromagnet ganz überein.

Die Figur 28 stellt einen solchen Inductor dar, in welchem die einzelnen Drahtwindungen etwas von einander gezogen sind, um Alles besser übersehen zu können. Durch die rasche Annäherung des Eisenkernes *A* gegen einen feststehenden Stahlmagnet *B* entsteht in dem ersteren eine Bewegung des Magnetismus; dem Südpole *s* gegenüber bildet sich plötzlich ein Nordpol *N*, dem Nordpole *n* gegenüber ein Südpol *S*. Diese molekulare Bewegung im Eisenkerne *A* aber wirkt auf die Drahtspirale ganz so, als ob man bei *N* einen Nordpol und bei *S* einen Südpol in dieselbe hineingesteckt (angenähert) habe, und die Folge hiervon ist, dass in den Windungen eines jeden Schenkels ein Strom inducirt wird. Beide Ströme sind Näherungsströme und haben als solche die entgegengesetzte Richtung derjenigen Ströme, welche man sich nach *Ampère* um die Pole *n* und *s* kreisend denkt.

Fig. 28.



Richtung des Stromes in einem Inductor.

Vergegenwärtigt man sich die Richtung dieser Ströme, wie sie in §. 4 näher angegeben ist, so findet man leicht, dass beide Näherungsströme in den Spiralwindungen, in gleichliegenden Theilen derselben (wie in einem geradlinigen Drahte), vom Beschauer aus gesehen, zwei entgegengesetzte Richtungen haben, wie es durch die beigesetzten Pfeile angedeutet ist, dass sie aber in dem Schliessungsdrahte *p q*, der die Windungen beider Schenkel vereinigt, gleiche Richtung haben und sich daher gegenseitig verstärken.

Bei jeder halben Umdrehung des Inductors *c*, Fig. 27, entstehen also in der Zeit der Annäherung an die Pole *a*

und *b* des Stahlmagnets zwei gleichgerichtete Inductionsströme in dem Verbindungsdrahte ausserhalb der Drahtrollen; bei jeder folgenden halben Umdrehung aber entsteht wieder gleichzeitig ein Paar unter sich gleichgerichteter Ströme, welche jedoch wegen des Entfernens der Inductorrollen von den Polen des Magnets eine entgegengesetzte Richtung haben in Bezug auf das erste Paar.

Die vorstehende Schilderung der wichtigsten Erscheinungen des Elektromagnetismus und der Induction dürfte hinreichend sein, ein leichtes Verständniss der verschiedenen Maschinen herbeizuführen, welche in kurzer Zeit eine Menge von Inductionsströmen liefern, deren Stärke natürlich von grossem Belange ist. Wie die Stromstärke bestimmt wird, wird an dieser Stelle nicht mitgetheilt, da eine ausführliche Darlegung der galvanischen Mess-Instrumente sowie der verschiedenen vorzunehmenden Messungen sich in des Verfassers Werke: „Der elektromagnetische Telegraph . . .“, p. 69 bis p. 185 findet. Auch sei hingewiesen auf einen Vortrag des Herrn *Dr. O. Fröhlich*:[1]) „Ueber die Messung starker elektrischer Ströme“, eine Abhandlung des Herrn *Uppenborn*:[2]) „Ueber das Messen elektromotorischer Kräfte“, sowie die Beschreibungen der Galvanometer für starke Ströme von *Marcel Deprez*,[3]) *Hill*,[4]) *Trowtridge*,[5]) *Hipp*[6]) und *Obach*.[7]) Indessen bedarf die sogenannte

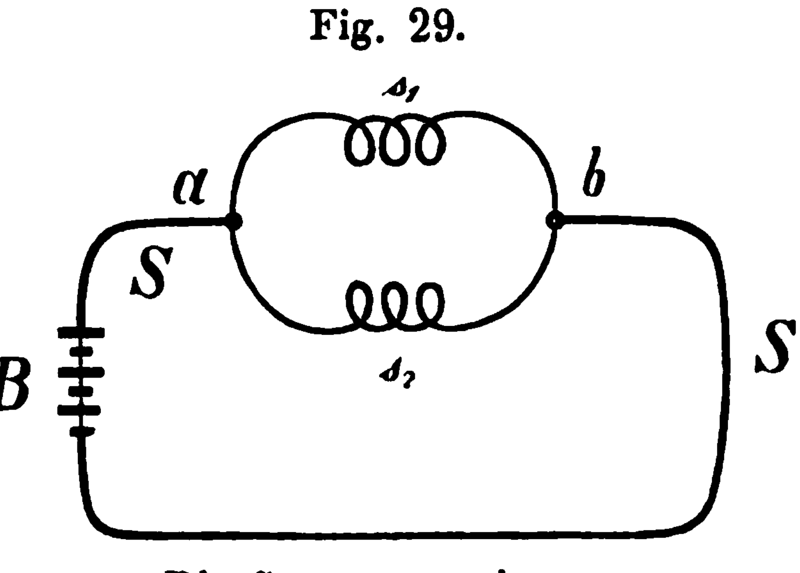
12. Stromverzweigung besonderer Beachtung, da auf ihr die Construction der neuesten Licht-Regulatoren beruht.

---

[1]) El. Z., I, p. 197.
[2]) Z. f. a. E., 1881, p. 117, 263.
[3]) „ „ „ 1880, p. 219 und 1881, p. 159, 292.
[4]) „ „ „ 1880, p. 155.
[5]) „ „ „ 1880, p. 442.
[6]) „ „ „ 1880, p. 64.
[7]) „ „ „ 1879, p. 4.
Die auszuführenden Messungen betreffen vorzugsweise Stromstärke, elektromotorische Kraft und Widerstand. Die Einheiten der British

Wenn, wie in Fig. 29, einem aus irgend einer Stromquelle *B* kommenden elektrischen Strome *S* an irgend einer Stelle *a* der Leitung zwei oder mehrere Wege s_1, s_2 zu seinem weitern Fortgange dargeboten werden, die sich wieder in einem Puncte *b* vereinigen, so nennt man diese einzelnen Stromwege zwischen *a* und *b* Stromverzweigungen oder einfach Zweige. Der Strom *S* theilt sich im Puncte *a* in so viele Partialströme s_1, s_2 (Zweigströme), als ihm Zweige dargeboten werden, und nach der Wiedervereinigung aller dieser Zweige (in *b*) fliesst er in derselben Stärke *S*, welche er vor seiner Verzweigung besass, durch die Leitung weiter. Theorie und Erfahrung stimmen darin überein, dass die Stromstärken in je zwei Zweigen sich umgekehrt verhalten, wie die Widerstände, welche diese Zweige dem Durchgange des Stromes entgegensetzen.

Fig. 29.



Die Stromverzweigung.

Wenn die Widerstände der beiden Zweige einander gleich, also die Drähte der Zweige bei gleichem Querschnitte gleich lang sind, so sind die Zweigströme s_1 und s_2 auch einander gleich und jeder ist die Hälfte des unverzweigten Stromes *S*. Sind dagegen die Widerstände der beiden Zweige nicht einander gleich, so ist die Stromstärke in demjenigen Zweige am kleinsten, in welchem der Widerstand am grössten

---

Association (*Weber, Volt, Weber e.*) stehen zu den Einheiten des von *Siemens* begründeten Systems (*d. Weber, Daniell, Siemens*) in folgendem Verhältnisse:

1 Ohm = 1,0486 Siemens.	1 Siemens = 0,9537 Ohm.
1 Volt = 0,927 Daniell.	1 Daniell = 1,079 Volt.
1 *e.* Weber = 0,885 *d.* Weber.	1 *d.* Weber = 1,13 *e.* Weber.

ist; immer aber ist die Summe aller Zweigströme gleich dem unverzweigten Strome S.

Bezeichnet man die Widerstände in den beiden Zweigen der Fig. 29 mit w_1 und w_2, die Stromstärken in denselben entsprechend mit s_1 und s_2, so ist

$$s_1 : s_2 = w_2 : w_1 \text{ und}$$
$$s_1 + s_2 = S,$$

woraus ferner folgt, dass

$$s_1 = S \cdot \frac{w_2}{w_1 + w_2} \text{ und}$$

$$s_2 = S \cdot \frac{w_1}{w_1 + w_2}.$$

Der gesammte Widerstand beider Zweige ist gleich

$$\frac{w_1\, w_2}{w_1 + w_2}.$$

Ist der eine Widerstand, z. B. in s_2, sehr klein im Verhältnisse zu dem andern Widerstande in s_1, besteht z. B. der Draht des Zweigstromes s_2 aus wenigen Spiralwindungen eines dicken Drahtes, dagegen für s_1 aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes, so theilt sich der Strom S bei a in zwei ungleiche Theile, von denen der grössere Theil durch die kurze Spirale des dicken Drahtes abfliesst, während die andere Spirale fast stromlos bleibt. Schaltet man in den einen Zweig (s_1) eine elektrische Lampe mit Lichtbogen ein, so setzt dieser bekanntlich dem Durchgange des Stromes einen grossen Widerstand entgegen, dessen Grösse veränderlich und von der Länge des Bogens abhängig ist. Wenn dabei der Widerstand in der anderen Drahtspirale klein ist, so geht wieder der grösste Theil des unverzweigten Stromes S durch die letztere Drahtspirale, während nur ein kleiner Theil des Stromes durch denjenigen Drahtzweig geht, in welchem sich der Lichtbogen befindet. Nimmt letzterer an Länge zu, so wächst auch der Widerstand in diesem Zweige; der durch die Lampe gehende Strom s_1 wird schwächer, während gleichzeitig der andere Zweigstrom s_2 an Stärke zunimmt.

II. Abtheilung.

Die magnet-elektrischen Maschinen.

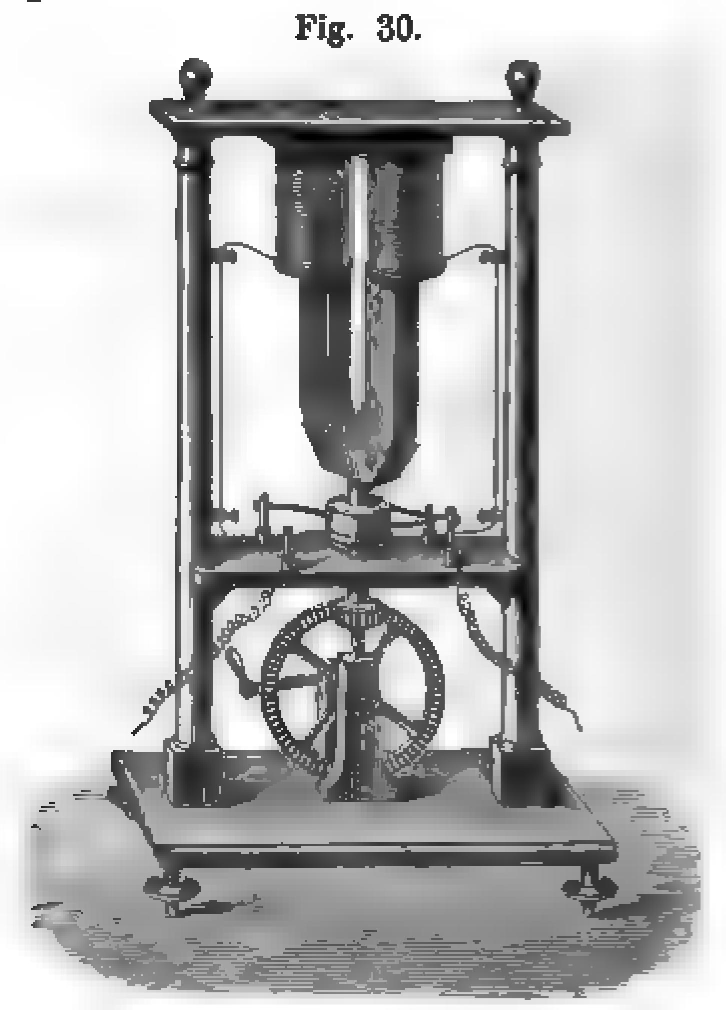
13. Die magnet-elektrischen Maschinen von Pixii, Saxton und Clarke. Es lag nahe, die in den §§. 1—11 beschriebenen Erscheinungen zur Construction von Maschinen zu verwenden, welche durch Rotation eines Magnets gegen einen Inductor oder des letztern gegen einen feststehenden Magnet in kurzer Zeit eine Menge von Inductionsströmen liefern.

Der Erste, der diese Idee praktisch ausgeführt hat, scheint *Pixii* in Paris gewesen zu sein. Schon im Jahre 1832 construirte er die in Figur 30 abgebildete magnet-elektrische Rotationsmaschine, bei welcher vermittelst eines Zahnrades mit Trieb die verticale Achse eines kräftigen Magnets in eine schnelle Rotation versetzt wurde. Bei dieser Bewegung liefen die Pole des Magnets dicht unter dem Eisenkerne des an der oberen Gestellplatte befestigten Inductors vorbei und erzeugten dadurch (§. 11) in dem Schliessungsdrahte der Drahtrolle eine Reihe von Inductionsströmen, welche durch die an der Seite des Gestells befindlichen Drähte zu zwei Messingklemmen und von hier beliebig weiter geführt wurden.

Für manche Zwecke ist es störend, dass die Ströme abwechselnd bald die eine, bald die entgegengesetzte Richtung haben; es muss daher die Einrichtung getroffen werden, dass bei jeder Drehung des Magnets der eine Strom in seiner Richtung umgekehrt werde, damit sämmtliche Ströme den Schliessungsdraht des Inductors in einer und derselben

Richtung durchlaufen. Einrichtungen dieser Art nennt man Stromwender oder Commutatoren und sind diese je nach der Anzahl der bei jeder Rotation entstehenden Ströme verschieden gestaltet.

Fig. 30.

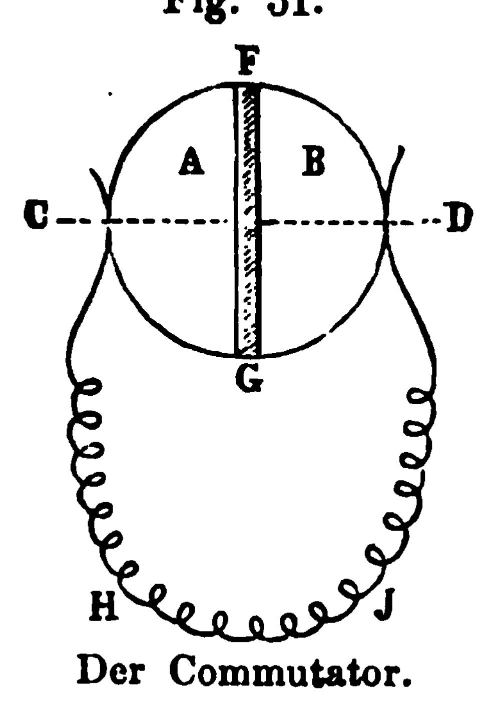


Die magnet-elektrische Maschine von Pixii.

Die einfachste Form eines Commutators entsteht, wenn man es bei jeder Rotation nur mit zwei entgegengesetzten Strömen zu thun hat, wie es bei der Maschine von *Pixii* der Fall ist. Derselbe besteht dann aus zwei einander gegenübergestellten metallischen Halbcylindern *A B*, Fig. 31, welche durch ein isolirendes Zwischenstück *F G* von Elfenbein oder Hartgummi von einander getrennt und auf der Welle des rotirenden Maschinentheiles (Figur 30) befestigt sind. Auf diesen Halbcylindern schleifen in diametral gegenüberstehenden Puncten die beiden Messingfedern *C*, *D*, die in seitlichen Klemmen befestigt sind und zugleich dazu dienen,

die Ströme aus der Maschine durch einen Schliessungsdraht *H J* beliebig weiter zu leiten. Die in dem Inductor der Rotationsmaschine entstehenden Ströme gehen von den Enden

Fig. 31.



Der Commutator.

des Inductordrahtes aus vermittelst zweier anderer Schleiffedern (Fig. 30) je in einen der messingenen Halbcylinder *A* und *B*, und von hier durch die Federn *C* und *D* weiter in den Schliessungsdraht.

Nehmen wir nun an, die Bewegung des Magnets gegen den Inductor sei eine solche, dass in dem Drahte des letztern ein Näherungsstrom entstehe, der in den Commutator bei *A* eintrete, über *C* in der Richtung *H J* durch den Schliessungsdraht nach *D* gehe und über *B* denselben wieder verlasse. Dieser Strom behält seine Richtung so lange, bis durch die Drehung der Halbcylinder das isolirende Zwischenstück *F G* auf die Federn *D* und *C* trifft. Geschieht dieses, so ist für den Augenblick der Strom im Schliessungsdrahte unterbrochen; aber im nächsten Augenblicke kommt der Halbring *A* auf die Feder *D*, *B* auf *C* zu stehen und es geht nun der bei *A* eintretende Inductorstrom im Schliessungsdrahte in der Richtung von *J* nach *H*, d. h. in der entgegengesetzten Richtung, als vorhin. Die Stellung des Commutators auf der rotirenden Achse ist nun aber eine solche, dass gerade in demselben Momente in dem Inductor ein Entfernungsstrom entsteht, welcher die entgegengesetzte

Richtung hat, als der Näherungsstrom. Ein Entfernungsstrom aber in der Richtung *J H* des Schliessungsdrahtes ist gleichbedeutend mit einem Näherungsstrome in der Richtung *H J*, und es haben daher bei fortgesetzter Rotation des Inductors die beiden aufeinander folgenden Inductionsströme, welche im Inductor selbst entgegengesetzte Richtung haben, ausserhalb desselben im Schliessungsdrahte eine und dieselbe Richtung.

Nach der Analogie einer galvanischen Batterie können wir die eine Feder *C* den positiven, die andere *D* den negativen Pol nennen, wenn bei anhaltender Rotation des Inductors und des Commutators der positive Strom stets in der Richtung von *C*, *H*, *J* nach *D* fliesst, was bei der vorstehenden Einrichtung der Fall ist. Je nach der Anzahl der bei einer Umdrehung der rotirenden Welle entstehenden Ströme von entgegengesetzter Richtung erhält der Commutator eine etwas andere Form; aber im Wesentlichen bleibt die Einrichtung dieselbe, wie wir sie eben beschrieben haben, und zwar derart, dass die eine Feder stets ein positiver, die andere ein negativer Pol wird. An der Stelle, wo das isolirende Material *F G* auf die Federn trifft, entsteht der Stromwechsel und damit zugleich eine, wenn auch noch so kurze Unterbrechung des Stromes in der Leitung, bei welcher an der Unterbrechungsstelle ein je nach der Stromstärke mehr oder weniger intensiver elektrischer Funken entsteht. Starken Funken aber widersteht kein Metall; die meisten Metalle werden durch dieselben geschmolzen oder doch oxydirt, und so bildet der Commutator in allen grösseren, nach dem Princip der Maschine von *Pixii* gebauten magnetelektrischen Rotationsmaschinen ein Organ, welches der leichten Zerstörung unterworfen ist und eine fortwährende Quelle von Unregelmässigkeiten in sich schliesst. Aus diesem Grunde konnten auch diese Maschinen, die sonst trotz des Mangels an der Continuität des Stromes für manche

industrielle Zwecke und sogar zur Erzeugung des elektrischen Lichtes wohl hätten verwendet werden können, keine allgemeine Verbreitung finden.

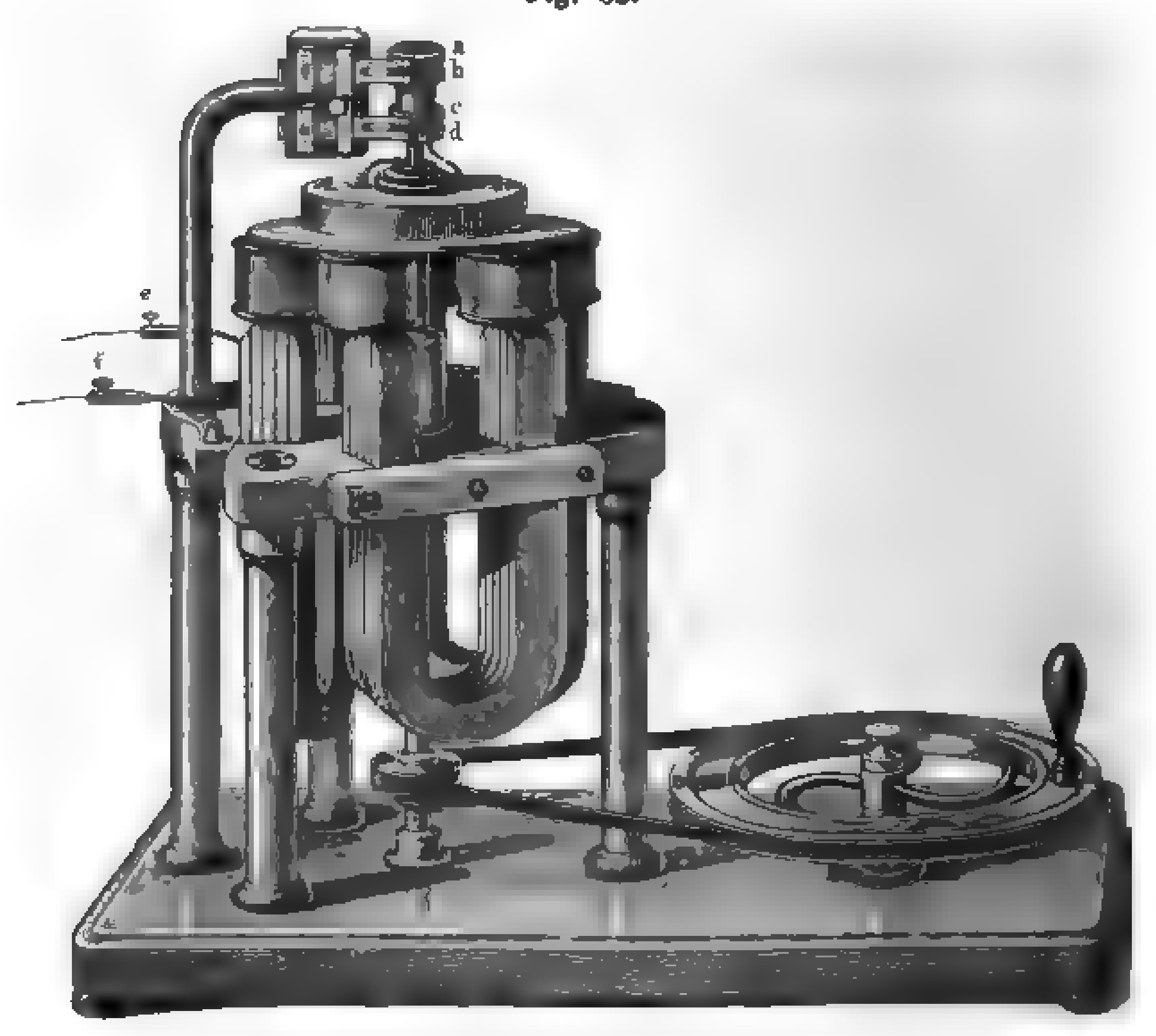
Den nächsten Schritt zur Verbesserung der Maschine von *Pixii* machten *Saxton* und *Clarke*, indem sie statt des schweren, aus mehreren Stahl-Lamellen zusammengesetzten Magnets den viel leichtern Inductor dicht an den Polen des Magnets vorbei rotiren liessen. Während *Saxton* sowohl dem Magnet als auch dem Inductor die horizontale Lage gab, stellte *Clarke* den Magnet vertical auf und liess den Inductor vor den Polen desselben rotiren.

14. Die magnet-elektrische Maschine von Stöhrer. Den Uebergang zu den grossen Maschinen, welche später zur Erzeugung des elektrischen Lichtes gebaut wurden, machte *Stöhrer* in Leipzig, indem er mehrere sehr grosse und starke zusammengesetzte Stahlmagnete vertical aufrecht stellte und dicht über den Polen derselben ein System von einzelnen mit einander in Verbindung stehenden Inductoren sehr schnell rotiren liess.

Die Fig. 32 (s. f. S.) zeigt eine solche *Stöhrer*'sche Maschine mit drei Magneten und sechs in gleichen Abständen von einander in einem Kreisumfange stehenden Polen, über denen eben so viele Inductorrollen stehen. Letztere sind auf einer gemeinschaftlichen Eisenplatte befestigt, welche in sehr rasche Rotation versetzt wird, wenn man ihre verticale Achse mittelst des grössern Rades und des auf dieser Achse befestigten kleinern Wirtels in Bewegung setzt. Die Windungen der einzelnen Rollen sind selbstredend so geordnet, dass die bei der Annäherung an die verschiedenen Magnetpole entstehenden Inductionsströme in jeder Rolle dieselbe Richtung haben, wonach man bei der darauf folgenden Entfernung der Rollen von den Magnetpolen abermals Ströme von gleicher Richtung erhält, welche letztere jedoch der vorigen Richtung entgegengesetzt ist.

Die abgebildete Maschine liefert daher bei jeder vollen Umdrehung der die Rollen tragenden Achse zwölf Ströme, welche alternirend bald nach der einen, bald nach der andern Richtung laufen; ein jeder dieser Ströme besteht aber

Fig. 32.



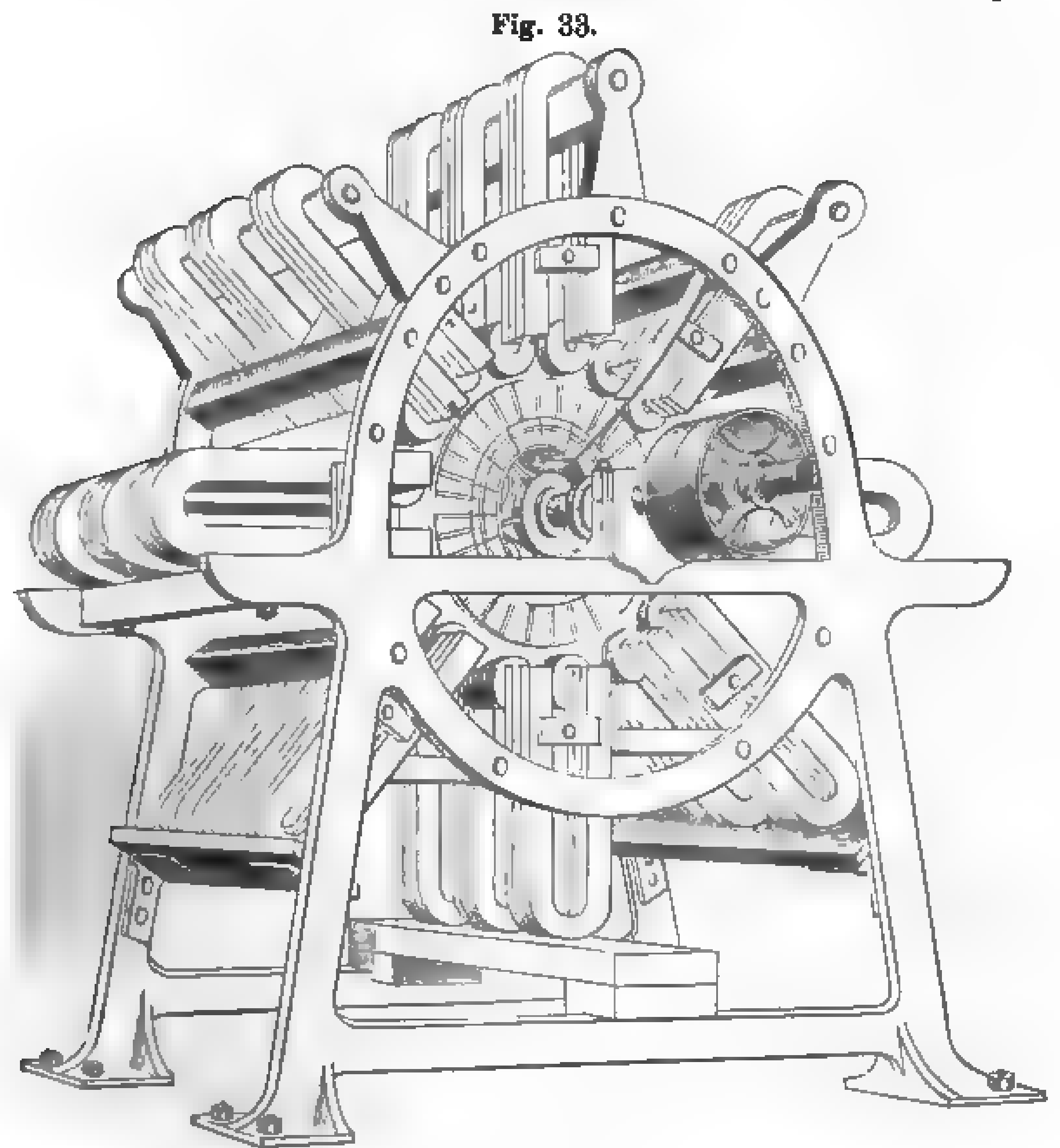
Die magnet-elektrische Maschine von Stöhrer.

aus sechs Elementarströmen, die in jeder Rolle gleichzeitig auftreten und sich wegen ihrer gleichen Richtung jedesmal zu einem starken Strome vereinigen.

Oberhalb der Inductorrollen sitzt auf der Achse der Maschine der Commutator *a b*, *c d* mit den seitlichen Schleiffedern, durch welche die sämmtlichen Ströme eine und dieselbe Richtung erhalten können und zu den Polklemmen *e*, *f* geführt werden, um von hier aus in die Leitung zu gelangen.

Es ist klar, dass die Stärke der von der Maschine erzeugten Ströme von der Stärke der Stahlmagnete, von dem Abstande zwischen den Inductorkernen und den Magnetpolen, von der Anzahl der Drahtwindungen eines jeden Inductors und endlich von der Geschwindigkeit der Rotation abhängt.

Fig. 33.



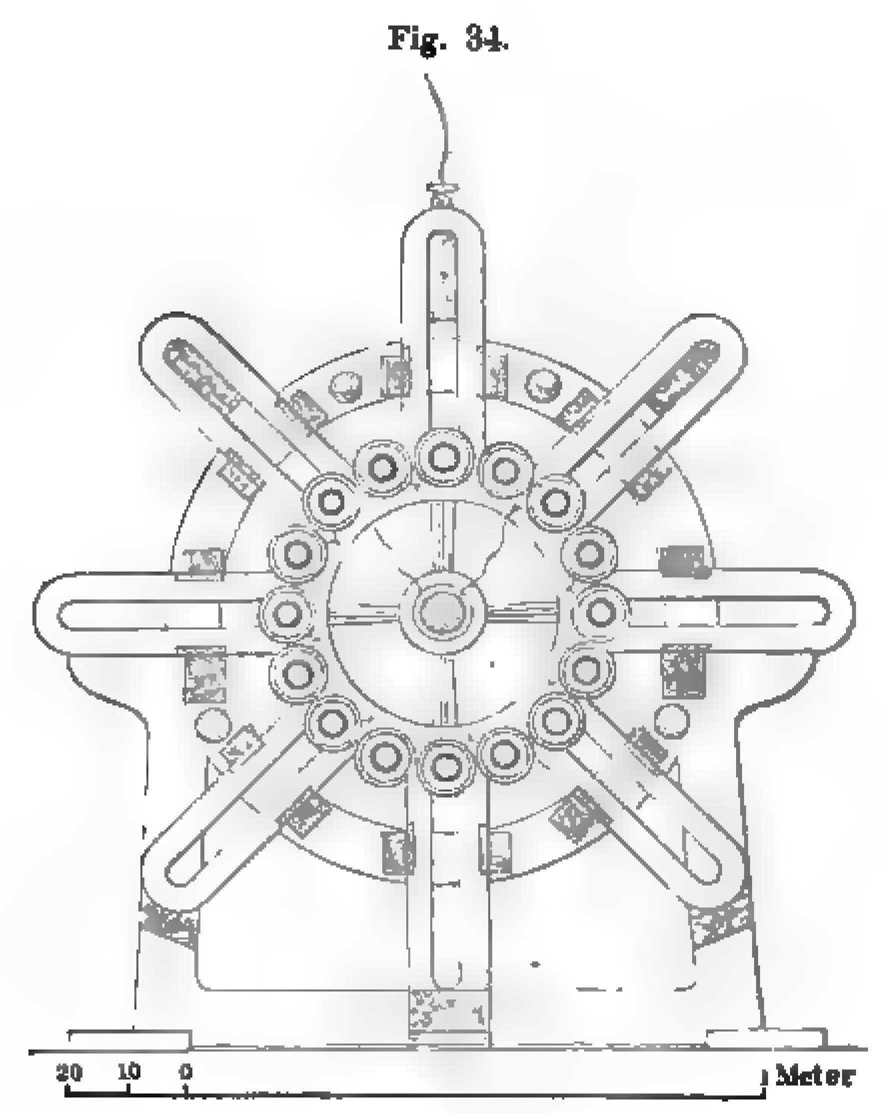
Magnet-elektrische Maschine der Gesellschaft l'Alliance.

15. Die grossen magnet-elektrischen Rotationsmaschinen. Maschinen der Gesellschaft l'Alliance und von Holmes. Die günstigen Resultate, welche die grösseren magnet-elektrischen Maschinen von *Stöhrer* und von englischen Mechanikern lieferten, liessen erwarten, dass es durch eine Steigerung der zuletzt

genannten Verhältnisse, durch welche die Stärke der Inductionsströme bedingt ist, gelingen werde, Ströme von solcher Intensität zu erhalten, wie sie zur Zersetzung des Wassers im Grossen und zur Erzeugung einer reichen Quantität von Wasserstoffgas erforderlich sind. Auf diese Weise entstanden die magnet-elektrischen Grossmaschinen, unter denen die der Gesellschaft *l'Alliance* und des Engländers *Holmes* die bekannteren sind.

Die *Alliance*-Maschine, wie sie nach der Verbesserung von *Van Malderen* in Fig. 33 abgebildet ist, wurde zuerst

Fig. 34.



Verticaler Durchschnitt durch die Alliance-Maschine.

von *Nollet*, Professor der Physik an der Kriegsschule zu Brüssel, construirt. Sie besteht aus einer Reihe von Messingscheiben (Fig. 34), welche auf der gemeinschaftlichen, hori-

zontal gelagerten Rotationsachse in gleichen Entfernungen von einander befestigt sind. Eine jede dieser Scheiben trägt an ihrem Umfange in gleichen Abständen 16 Inductorrollen.

An den Seitenflächen des gusseisernen Gestelles sind acht horizontale Stäbe parallel zur Achse befestigt, auf denen je drei oder fünf starke Stahlmagnete strahlenförmig derart festgeschraubt sind, dass immer je zwei entgegengesetzte Pole einander gegenüberstehen, mag man sie parallel zu der Rotationsachse oder in einer Ebene senkrecht zu dieser Achse ansehen. Zwischen diesen Polen rotiren die genannten Inductorrollen, deren Drahtwindungen jedoch etwas anders angeordnet sind wie in der Maschine von *Clarke*.

Da jede Messingscheibe 16 Inductorrollen enthält, hat man deren im Ganzen 64, und da sie in gleichen Abständen von einander angebracht sind, so müssen sämmtliche Rollen den Magnetpolen gegenüberstehen, wenn dieses bei einer von ihnen der Fall ist.

In der Regel hat eine solche Maschine vier oder sechs Messingscheiben, und dem entsprechen 64 Rollen und 32 Magnete oder 96 Rollen und 48 Magnete. Das eine Ende (Pol) des Gesammtdrahtes ist auf der Achse befestigt und steht dadurch mit dem eisernen Gerüste der Maschine in leitender Verbindung; das andere Ende geht an einen concentrisch um die Achse gelegten, aber von ihr durch ein isolirendes Material getrennten metallischen Ring.

Bei jedem Vorübergange einer Drahtrolle vor den Polen eines Magnets wechselt der Strom seine Richtung; man hat daher, da dieselbe bei jeder Umdrehung an 16 Polen vorübergeht, 16 Stromwechsel bei jedem Umlaufe der Achse, was bei 400 Umdrehungen in der Minute wenigstens 100 Stromwechsel in der Secunde macht. Die Maschine wird durch eine Dampfmaschine von etwa fünf Pferdekräften in Bewegung gesetzt und liefert bei vier Scheiben ein elektrisches Kohlenlicht von 150 und bei sechs Scheiben von 200

Carcel'schen Brennern (à 7 Normal-Paraffine-Kerzen). Die ersten Maschinen dieser Art von *Nollet* hatten noch einen Commutator, um Ströme von gleicher Richtung zu erhalten; erst mit der Beseitigung desselben durch *Van Malderen* gewann die Maschine eine grosse praktische Bedeutung sowohl zur Erzeugung des elektrischen Lichtes für Leuchtthürme als auch für andere industrielle Zwecke.

Am besten und vollständigsten hat *Le Roux* die Theorie der *Alliance*-Maschinen, ihre Construction, ihre Wirkungsart und ihre Leistung in zwei Vorlesungen [1]) behandelt, welche er in der *Société d'Encouragement etc.* gehalten hat; er spricht sich darin über die Erzeugung des elektrischen Lichtes vermittelst der Wechselströme folgendermaassen aus:

„Da der Strom seine Richtung wechselt und zwar mehr als 100mal in der Secunde, so muss die Stromstärke bei jedem Wechsel auf Null herabsinken; es muss daher der elektrische Flammenbogen zwischen den Kohlenspitzen 100-mal in der Secunde unterbrochen werden und seine Leuchtkraft verlieren. [2]) Wenn nun trotzdem das elektrische Licht uns continuirlich erscheint, so rührt das zum Theil davon her, dass ein Lichteindruck auf die Netzhaut noch eine Zeit lang nach dem Aufhören des Lichtes fortbesteht, theils daher, dass der eigentliche Flammenbogen nur zum Theil das elektrische Licht ausmacht und der andere Theil von dem Weissglühen der Kohlen herrührt, welches natürlich bei der Unterbrechung des Stromes nicht sofort aufhört. Wenn man aber wieder bedenkt, dass die Spannung der erzeugten

---

[1]) „Les machines magnéto-électriques françaises et l'application de l'électricité à l'éclairage des phares", deux leçons faites à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale. Bulletin de la Soc. d'encour. t. XIV. (1867).

[2]) Wird der Strom nur $1/80''$ unterbrochen, so ist ein Abnehmen der Lichtstärke beim Kohlenlichte nicht wahrzunehmen; dauert aber die Unterbrechung länger als $1/10''$, so erlischt der Bogen definitiv.

Ströme nicht hinreicht, um für gewöhnlich ein Ueberspringen des Funkens von einer Kohlenspitze zur anderen zu ermöglichen, und andererseits, dass man den *Volta*'schen Flammenbogen leicht ausblasen kann und dieser dann so lange verlöscht bleibt, bis die Kohlenspitzen von Neuem in Berührung gebracht werden, so erregt es doch einigermaassen Erstaunen, dass eine so grosse Anzahl von Stromunterbrechungen das Licht zwischen den Kohlenspitzen nicht zum Verlöschen bringt. Es ist nicht leicht, diese Thatsache zu erklären; die Spannung des Stromes ist zwar nicht stark genug, als dass der Funken zwischen den kalten Kohlenspitzen überspringen könne; wenn jedoch dieselben einmal durch den Strom weissglühend geworden sind, erhält ihre nächste Umgebung durch die Temperatur-Erhöhung eine grössere Leitungsfähigkeit, und die von nun an von einer Kohlenspitze zur anderen übergehenden glühenden Kohlentheilchen bilden eine Art leitender Brücke zwischen beiden; da ohnehin die Zeit der Unterbrechung sehr kurz ist, so fehlt es der die Spitzen einhüllenden Luftschicht an Zeit, ihren jedesmaligen Zustand in bemerkbarer Weise zu ändern, und die elektrische Strömung kann nach statt gehabter Unterbrechung sofort wieder eintreten. Uebrigens ist bei der angegebenen Geschwindigkeit der Rotation unter der Annahme, dass während des Stromwechsels der Mittelpunct der Inductorrolle nur einen Bogen von einem Millimeter beschreibt, die Dauer der Unterbrechung nur der zehntausendste Theil einer Secunde.“

Die *Alliance*-Maschinen haben vor den anderen Lichtmaschinen mit continuirlichem Strome den Vortheil, dass die Magnete der Maschine constant bleiben und ihre Kraft nicht von der Veränderlichkeit der Rotationsgeschwindigkeit abhängig ist; dass die Kohlenspitzen der elektrischen Lampe gleichmässig abbrennen und daher der Flammenbogen stets

an derselben Stelle bleibt; dann auch, dass bei den Wechselströmen der Maschine, welche ja auch durch den Elektromagnet der regulirenden Lampe gehen, dieser selbst jeden Augenblick seine Polarität ändert und daher keinen permanenten Magnetismus behält, ein Umstand, der auf den regelmässigen Gang derartiger Regulateure einen grossen Einfluss ausübt. Dagegen haben die Wechselströme wieder den Nachtheil, dass der Flammenbogen unruhig ist und sich so zu sagen um die Kohlenspitzen herumdreht, was zur Folge hat, dass die einzelnen Puncte der Umgebung bald stärker, bald weniger stark beleuchtet werden.

Die *Alliance*-Maschinen sind auf den Leuchtthürmen von Cap la Hêve (nahe beim Hafen von Havre), von Cap Gris-Nez bei Calais, von Kronstadt, Odessa u. m. a. in Gebrauch. An ersterem Orte arbeiten vier gleich grosse Maschinen (1,6m lang, 1,320m breit und 1,523m hoch), wozu zwei Dampfmaschinen von fünf Pferdekräften erforderlich sind. Bei einer Rotationsgeschwindigkeit von 400 Touren in der Minute ist die Lichtstärke am grössten und beträgt, ausserhalb des die Lampe umgebenden Linsenapparates gemessen, bei vier Messingscheiben 3500 und bei sechs Messingscheiben 5000 *Carcel*'sche Lampen; das Licht wird in einer Entfernung von 27 Seemeilen oder von 50 Kilometern noch deutlich gesehen.

Nicht minder finden diese Maschinen zur Erzeugung des elektrischen Lichtes Anwendung auf Seeschiffen, bei nächtlichen Arbeiten umfangreicher Art, z. B. bei den Brückenbauten zu Paris und Kehl, bei dem Bau des neuen Louvre, bei Arbeiten auf grossen Bauplätzen, Werften und in den Docks; dieselben Maschinen spielten eine nicht unbedeutende Rolle bei der Belagerung von Paris im Kriege von 1870—71; sowohl auf dem Mont Valérien als auch auf der Butte Montmartre und anderwärts waren grosse magnet-elektrische Maschinen der beschriebenen Art aufgestellt, um mittelst des

von ihnen erzeugten elektrischen Lichtes die nächtlichen Belagerungsarbeiten des Feindes zu beleuchten.

Ungeachtet die *Alliance*-Maschinen ganz gut functioniren, nur eine kleine Betriebskraft erfordern und das Patent der Gesellschaft erloschen ist, denkt doch ausser dieser letzteren Niemand daran, die Maschinen zu bauen; das deutet allerdings darauf hin, dass dieselben mit Mängeln mancher Art verbunden sein müssen. Ihre Construction ist nichts weniger als einfach und daher sind Betriebsstörungen nicht selten; ausserdem sind sie sehr theuer, und gerade dieser Punct kommt bei der Aufstellung von elektrischen Beleuchtungs-Apparaten für Industriezwecke in erster Linie in Betracht. Zu den schlimmsten Uebelständen dieser Maschinen sind jedoch die Stahlmagnete zu rechnen, welche ungeachtet ihrer Grösse, die doch auch ihre eng gezogene Gränze hat, nie eine so grosse Anziehungskraft annehmen, wie sie zur Erzeugung sehr starker Ströme erforderlich ist. Diesen Mangel der verhältnissmässig kleinen Anziehungskraft, welche dem einzelnen Stahlmagneten innewohnt, durch Vermehrung der Anzahl der wirkenden Magnete zu beseitigen, hat seine grossen Bedenken, weil damit das Gewicht, die Gefahr des Durchbiegens, die Complication und der Preis der Maschine bedeutend zunimmt. Die Anziehungskraft der Magnete nimmt nämlich in einem sehr viel geringern Verhältnisse zu als die Masse des verwandten Stahls; auch nimmt dieselbe nach und nach ab, und besonders dann, wenn, wie dieses während des Betriebs der Maschine unaufhörlich geschieht, die rotirenden Anker von den Polen der Magnete gewaltsam abgerissen werden.

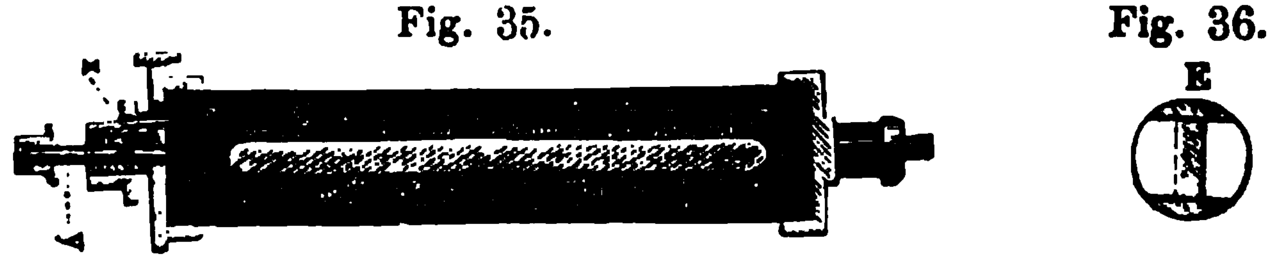
Während die *Alliance*-Maschinen ausschliesslich in Frankreich construirt wurden, baute der englische Physiker *Holmes* nach ähnlichen Principien und zu gleichem Zwecke eine Reihe von magnet-elektrischen Grossmaschinen, unter denen wir nur diejenige hier anführen, auf welche sich das letzte

Patent (5. Juni 1869) bezieht. *Holmes* lässt die Inductorrollen nicht zwischen den Polen von Stahlmagneten rotiren, sondern er stellt dieselben in der Zahl von 20 am Umfange einer Scheibe fest auf und ersetzt die Stahlmagnete durch fünf V-förmig gestaltete Elektromagnete, deren zehn Pole bei der Rotation der die letzteren tragenden Scheibe dicht an den Eisenkernen der festen Inductorrollen vorüberlaufen. Ein Theil des erzeugten Stromes wird dazu verwendet, die Elektromagnete zu magnetisiren, und die Verbindung der Inductorrollen untereinander ist eine solche, dass gleichzeitig mehrere von einander unabhängige Ströme von der Maschine abgeleitet und desshalb gleichzeitig mehrere elektrische Lampen unterhalten werden können. Dass diese Maschinen ebenfalls Wechselströme erzeugen und eines Commutators bedürfen, um Ströme von einerlei Richtung zu geben, versteht sich von selbst.

16. Der Siemens'sche Inductor. Eine bedeutende Verbesserung wurde den magnet-elektrischen Maschinen bereits im Jahre 1857 durch *Dr. W. Siemens* in Berlin zu Theil, indem er der Inductorrolle eine Gestalt und eine Lage zu den Stahlmagneten gab, bei welcher es möglich war, nicht nur die höchste inducirende Kraft der Magnetpole auszunutzen, sondern auch die Dauer der Stromunterbrechungen erheblich zu verkürzen.

In seiner einfachsten Gestalt besteht dieser Inductor aus einem Eisencylinder Fig. 35 und Fig. 36, welcher der Länge

Fig. 35. Fig. 36.



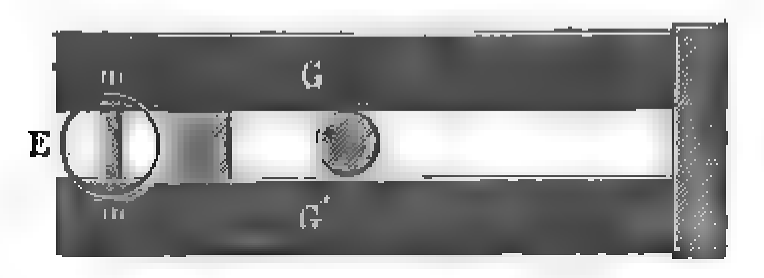
Der Siemens'sche Inductor.

nach mit zwei gegenüberstehenden, etwa 1/3 des Durchmessers tiefen und 2/3 desselben breiten Einschnitten versehen ist und dadurch ungefähr die Form eines Galvanometer-

Rahmens erhält. Die durch das weggeschnittene Eisen entstandene, um den ganzen übrig gebliebenen Eisenrahmen herumlaufende Nuth ist mit isolirtem Kupferdraht derart umwickelt, dass die cylindrische Form der früheren Eisenstange durch die Drahtwindungen wieder vollständig hergestellt ist. Das eine Ende dieses Drahtes steht mit der Achse y des Cylinders in Verbindung, das andere geht nach aussen und ist auf einem von dieser Achse isolirten, aber auf ihr festsitzenden Kupferringe x befestigt.

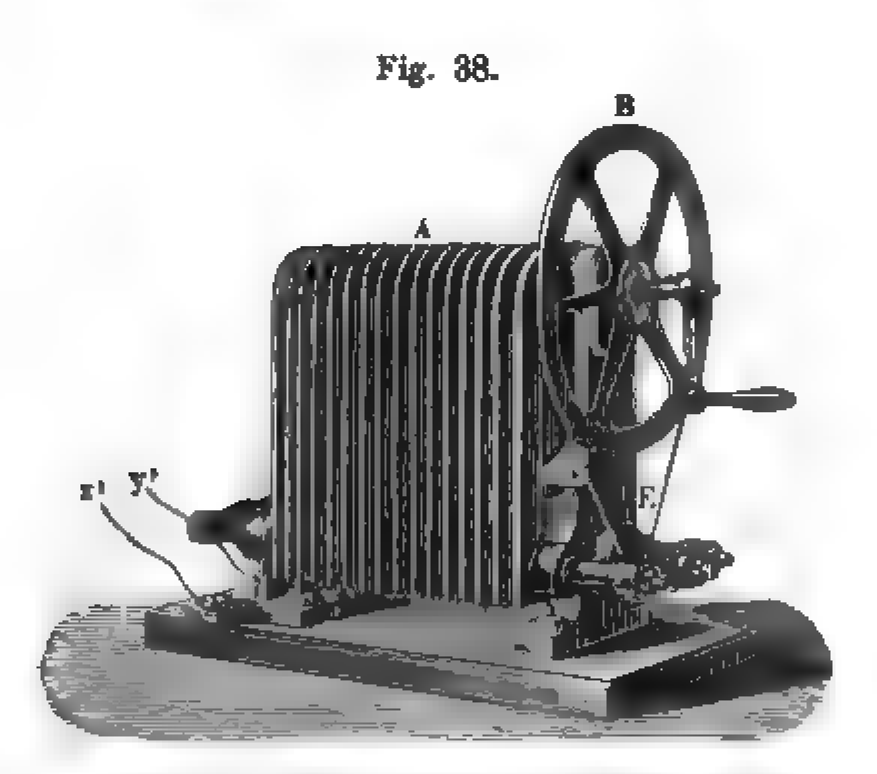
Die Fig. 37 und Fig. 38 zeigen, welche Lage ein solcher

Fig. 37.



Lage des Siemens'schen Inductors zu den Magneten.

Fig. 38.



Inductions-Maschine mit Siemens'schem Inductor.

Cylinder-Inductor zu den Polen des Stahlmagnets hat und in welcher Weise er seine Bewegung erhält. Die einzelnen

mit geringen Zwischenräumen parallel neben einander stehenden Stahlmagnete $G\,G'$ (Fig. 37) haben sämmtlich an der inneren Seite, wo sie dem Cylinder E gegenüber stehen, einen kreissegmentförmigen Ausschnitt $m\,m$ und bilden so an der Stelle der grössten magnetischen Kraft einen cylinderförmigen Raum, in welchen der Cylinder-Inductor mit möglichst wenig Spielraum passt; die hinteren Enden der Magnetstäbe sind entweder, wie in Fig. 37, durch weiches Eisen rechteckig verbunden oder sie sind, wie in Fig. 38 direct aus einem Stücke hufeisenförmig geschmiedet.

Durch eine Riemenscheibe oder ein paar Zahnräder wird dem Inductor eine grosse Rotationsgeschwindigkeit gegeben, und es ist leicht einzusehen, dass bei jeder halben Umdrehung der Magnetismus in den inneren flachen Eisenkernen des Inductors der ganzen Länge nach umgekehrt und dadurch jedesmal ein der Grösse des entwickelten Magnetismus proportionaler Inductionsstrom in den Windungen der Drahtspirale erzeugt wird, vorausgesetzt, dass letztere zu einem ununterbrochen leitenden Kreise geschlossen ist.

Um diesen Kreis schliessen und die auftretenden Inductionsströme nach aussen leiten zu können, stehen zu beiden Seiten des Inductors auf der dem Kurbelrade B (Fig. 38) entgegengesetzten Seite zwei Schleiffedern, von denen die eine stets gegen den Ring x (Fig. 35), die andere gegen die Cylinderachse y federt; diese Federn stehen mit zwei Klemmen x', y' (Fig. 38) in Verbindung, von denen die Leitung nach aussen abgeht. Wird diese geschlossen, so bildet die Drahtspirale des Inductors über die Federn x, y und die Klemmen x', y' eine ununterbrochene Leitung, in welcher die Inductionsströme auf die bezeichnete Weise circuliren können.

Die bei der Drehung des Cylinders E entstehenden aufeinander folgenden Ströme haben wechselnde Richtung und genau gleichen elektrischen Effect. Da jedoch die beiden sichelförmigen, stehengebliebenen Theile des Eisencylinders

einander sehr nahe sind und bei der sehr schnellen Rotation des verhältnissmässig dünnen Cylinders der eine Theil sehr schnell an die Stelle des andern tritt, so sind die Intervalle zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima der magnetischen Kraft im Cylinder, und daher auch die Pausen zwischen den aufeinanderfolgenden Strömen äusserst klein. Der *Siemens*'sche Cylinder-Inductor liefert daher zwar immer noch Wechselströme mit entsprechender Stromunterbrechung, aber die Gesammtheit der Ströme nähert sich schon bedeutend dem continuirlich fliessenden Strome einer galvanischen Batterie. Uebrigens kann auch hier durch Einschaltung eines Commutators der Stromwechsel beseitigt und allen Strömen eine und dieselbe Richtung gegeben werden.

17. Der Siemens'sche magnet-elektrische Läute-Inductor. Bei der grossen Bedeutung des *Siemens*'schen Cylinder-Inductors für die weitere Entwicklung der magnet-elektrischen und dynamo-elektrischen Maschinen erscheint es angemessen, eine seiner einfacheren Anwendungen zu beschreiben; wir wählen dazu den magnet-elektrischen Läute-Inductor, wie er zum Ingangsetzen der Eisenbahn-Läutewerke sehr häufig in Gebrauch ist.

Aus der Fig. 39 (s. f. S.) wird man sofort erkennen, dass die Construction dieser Maschine im Wesentlichen mit den in Fig. 38 beschriebenen kleinen magnet-elektrischen Maschinen übereinstimmt. Der rotirende Anker E hat in beiden Apparaten genau dieselbe Einrichtung.

Das eine Ende der Umwindungsspirale endigt in der Cylinderachse f, das andere in der Knagge k, welche sammt dem Stahlringe r von der Achse f isolirt ist. Auf dem Metallringe r schleifen zwei Federn, von denen in der Zeichnung nur die obere sichtbar ist. Beide Federn stehen in metallischer Verbindung mit dem Stücke S, welches von dem Lager V isolirt ist. Es steht somit das eine Ende des Inductordrahtes mit dem Stücke S in Verbindung, welches

durch die betreffende Schaltung mit dem die Läutewerke enthaltenden Leitungsdrahte communicirt; das andere Ende



Fig. 39.

Der Siemens'sche magnet-elektrische Läute-Inductor.

steht durch die Achse f mit dem Lager V in Verbindung,

welches mittelst eines Drahtes durch die Schraube *W* mit der Erde communicirt.

Der Gebrauch des Läute-Inductors besteht nun einfach darin, dass, wenn ein Zug abgeläutet werden soll, der Apparat durch einen Umschalter in die Leitung eingeschaltet und die Kurbel *H* mit ihrer Riemenscheibe *L* in nicht zu langsamer Bewegung gedreht wird; es wird dadurch eine Anzahl schnell hintereinander folgender Ströme in die Leitung gesandt, der Elektromagnet eines jeden eingeschalteten Läutewerkes magnetisirt und in Folge des Ankeranzuges das Laufwerk selbst ausgelöst und in Bewegung gesetzt.

Die grossen Vortheile derartiger Maschinen liegen auf der Hand: die früher erforderlichen grossen Läutebatterieen kommen in Wegfall und damit alle die mannigfachen Arbeiten, Unkosten und Störungen, welche aus der Instandhaltung und Ueberwachung so vieler galvanischer Elemente entspringen. Da die Ströme so kräftiger Inductoren selbst Batterieen von 100 Elementen übertreffen, so ist auch deren Wirkung auf die Elektromagnete der schweren Läutewerke entsprechend kräftiger; es können desshalb auch die Federn, welche die Anker der Elektromagnete abziehen müssen, weit stärker als sonst angespannt werden; eine scharfe Einstellung dieser Anker ist also nicht mehr nöthig, ein unzeitiges Auslösen der Werke durch Erschütterungen u. s. w. kommt nicht mehr vor und die Läutewerke functioniren weit sicherer, als dies früher bei Batterieströmen der Fall war.

18. Die magnet-elektrische Maschine von Wilde. Einen weitern Fortschritt in der Ausbildung der magnet-elektrischen Maschinen machte *H. Wilde* in Manchester, indem er ebenfalls den *Siemens*'schen Cylinder-Inductor zum Ausgangspuncte nahm.

Am 13. April 1866 theilte *Wilde* der *Royal Society* in London eine Reihe von Versuchen mit, die er mit einer neuen magnet-elektrischen Maschine angestellt hatte. Die-

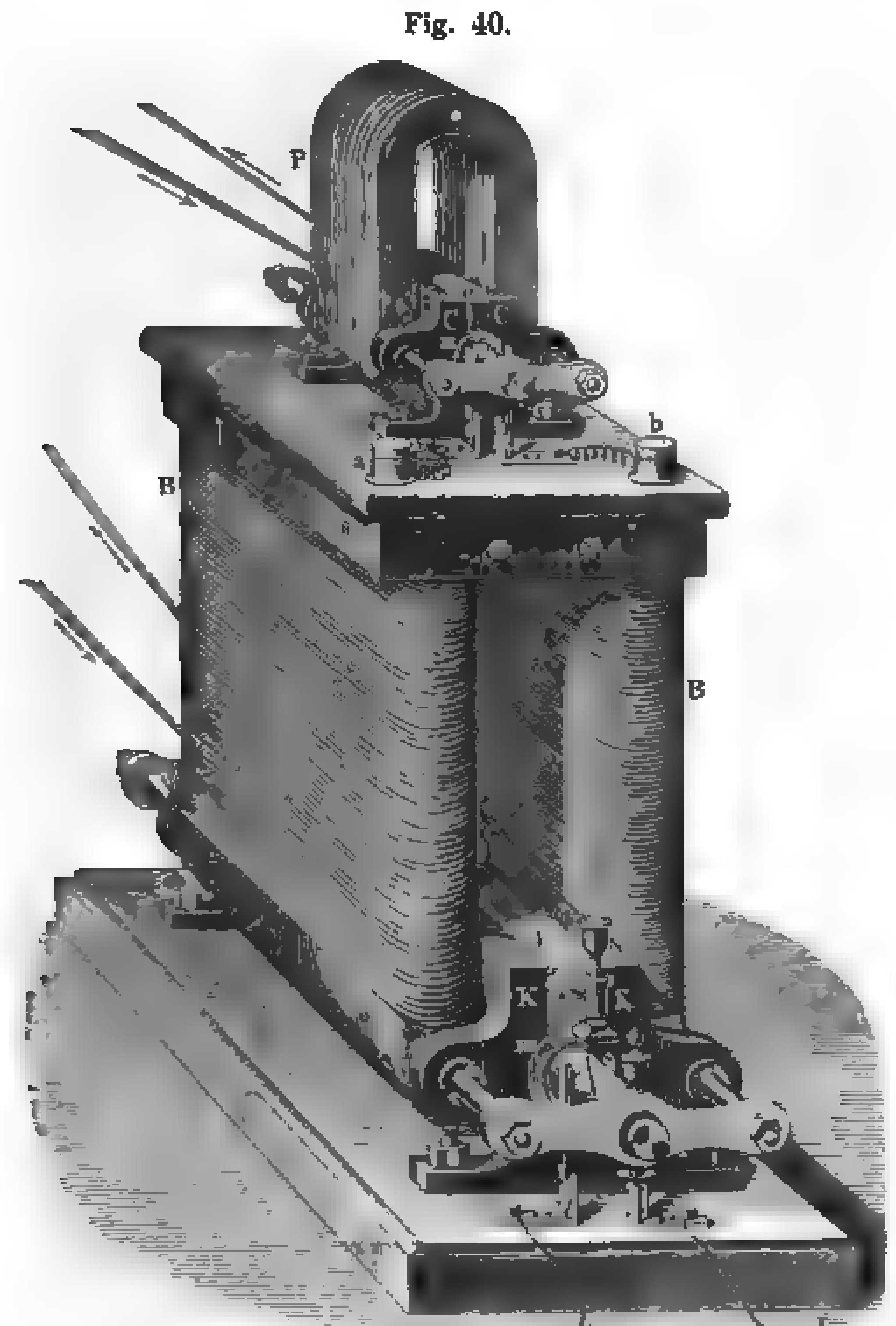
selbe bestand aus einer Combination zweier rotirender Cylinder-Inductoren, von denen der eine einem System von Stahlmagneten, der andere aber einem sehr starken Elektromagnete von weichem Eisen angehörte. Der Strom des ersten Inductors wurde zur Magnetisirung des Elektromagnets benutzt, während der zwischen den Polen dieses Elektromagnets rotirende Cylinder freie Ströme gab, die zum Glühen von Platin- oder Eisendrähten, zum Niederschlagen der Metalle aus ihren Lösungen und zur Darstellung des elektrischen Lichtes benützt werden konnten.

Die Figur 40 zeigt diese magnet-elektrische Maschine von *Wilde* in perspectivischer Ansicht. Dieselbe besteht aus zwei übereinander stehenden Abtheilungen, von denen die obere *P* die aus 16 Stahlmagneten bestehende gewöhnliche *Siemens*'sche Maschine darstellt (Fig. 38), die untere *B* aber bloss einen einzigen, aber sehr grossen Elektromagnet mit zugehörigem Cylinder-Inductor bildet. Die Schenkel dieses Elektromagnets sind zwei parallele, 18 Centimeter hohe Platten *C C* von gewalztem Eisen, die oben mit einer eisernen Platte gedeckt und um welche 1000 Meter eines dicken Kupferdrahtes gewickelt sind. Die Cylinder-Inductoren werden durch eine kleine Dampfmaschine von drei Pferdekräften in Umdrehung versetzt, wobei der untere grössere Inductor *L* 1700 bis 1800 Touren in der Minute macht.

Die Enden des den Elektromagnet bildenden dicken Drahtes sind in Klemmen *a*, *b* befestigt, welche auf der oberen Eisenplatte isolirt stehen, und eben dahin gehen auch die Enden des obern Inductordrahtes, so dass die von dem obern kleinern Cylinder *C C* gelieferten Ströme über diese Klemmen in den Umwindungsdraht des grossen Elektromagnets gehen. Mit der Umdrehungszahl des obern Inductors wächst die Intensität dieser Ströme, die ausserdem noch mittelst Anwendung eines Commutators *n* auf die bekannte Weise (§. 13) eine und dieselbe Richtung erhalten.

Indem diese Ströme in den Elektromagnet eingeführt erden, erhält dieser eine weit grössere magnetische Kraft, s die 16 Stahlmagnete vereint besitzen, woraus dann von

Fig. 40.



Die magnet-elektrische Maschine von Wilde.

elbst folgt, dass die aus der Rotation des untern Inductors L hervorgehenden, über zwei untere Klemmen hervortreten-

den und in die Leitung *s*, *r* übergehenden Ströme weit stärker sind, als die der oberen Magnetmaschine. Die Magnetpole sind mit Armaturen, oben *C C*, unten *K K*, die Inductoren mit je einem Commutator *n*, *m* versehen.

Bei einer der ersten Maschinen von *Wilde* hatte jeder der oberen 16 Stahlmagnete eine Tragkraft von 10kg, das ganze Magazin also eine Tragkraft von 160kg, wogegen der Elektromagnet unter dem Einflusse der aus dem obern Inductor gewonnenen magnet-elektrischen Ströme die enorme Tragkraft von nahe 5000kg gewann. Dass die unter dem Einflusse einer solchen magnetischen Kraft und einer so bedeutenden Umdrehungsgeschwindigkeit des untern Inductors gewonnenen Inductionsströme, welche von dem auf der Rotationsachse befindlichen Commutator gleiche Richtung erhielten, eine aussergewöhnliche Stärke besassen und sowohl in den Glüh-Erscheinungen als in den chemischen, magnetischen und elektrischen (Licht-) Wirkungen ganz Ausserordentliches leisteten, ist von selbst klar.

Wilde ging noch weiter. Anstatt die Ströme des untern Inductors zu den zuletzt genannten Zwecken zu verwenden, fügte er seiner Maschine noch einen zweiten, weit grössern, ebenfalls aus Eisenplatten gebildeten Elektromagnet mit entsprechend grösserem Cylinder-Inductor hinzu, so dass die ganze Maschine aus einer kleinern magnet-elektrischen Maschine, zwei Elektromagneten und drei rotirenden Cylindern bestand.

Bezeichnen wir den ersten Inductor mit E, den ersten Elektromagnet mit M_1 und dessen Inductor mit E_1, den letzten und grössten Elektromagnet mit M_2 und dessen Inductor mit E_2, so wurden die von E gelieferten ersten Inductionsströme zu M_1 geleitet und dieser dadurch, wie vorhin bemerkt worden ist, schon sehr stark magnetisirt. Die von dem Inductor E_1 dieses Elektromagnets gelieferten äusserst starken Ströme wurden zu M_2 geleitet, der nun-

mehr eine so ausserordentlich grosse magnetische Kraft erhielt, dass die aus der schnellen Rotation von E_3 hervorgehenden Ströme in ihrer Wirkung bei Weitem Alles übertrafen, was man seither mit kräftig erzeugten galvanischen Strömen zu leisten im Stande gewesen war.

Am 2. März 1867 wurde mit einer solchen dreifachen *Wilde*'schen Maschine in *Burlington House* in London im Beisein von *Sabine* und anderen hervorragenden wissenschaftlichen Autoritäten eine Reihe von Versuchen angestellt, über welche das „*Athenäum*“ folgendermaassen berichtet:

„In der Maschine selbst lag schon etwas Achtunggebietendes, da die Elektromagnete aus 4 Fuss hohen und 10 Zoll dicken, 14 Centner Kupferdraht enthaltenden Schenkeln bestanden, zwischen denen eine Armatur (Cylinder-Inductor) lag, die durch die ausserhalb des Gebäudes aufgestellte Dampfmaschine von 15 Pferdekräften mit einer Geschwindigkeit von 1500 Touren in der Minute umgedreht wurde. Um und um flogen die Cylinder und jede Rotation sandte neue elektrische Ströme in die Elektromagnete, als plötzlich der freie aus der Maschine austretende Strom mit voller Kraft in eine am Ende des Versuchslocals aufgestellte elektrische Lampe geleitet wurde und sofort zwischen den fingerdicken Kohlenstäben ein ungemein intensives elektrisches Licht vor den Augen der Zuschauer aufflammte, das sie eben so blendete, wie der Glanz der Mittagssonne und alle Ecken und Winkel des grossen Saales mit einem Glanze erleuchtete, der den Sonnenschein übertraf und gegen welchen die hell brennenden Gasflammen in der Mitte des Zimmers braun erschienen. Ein in der Richtung des Lichtstrahls gehaltenes Brennglas brannte Löcher in das Papier, und wer die Wärme mit ausgestreckter Hand auffing, konnte dieselbe in einer Entfernung von 150 Fuss noch deutlich wahrnehmen. Dann spannte man eine lange eiserne Drahtschlinge in die Leitung ein; nach wenigen Minuten glühte der Draht, nahm eine

mattrothe Farbe an, wurde weissglühend und fiel in glühenden Stücken zu Boden. Eben so wurde ein kurzes Stück Eisen von der Dicke des kleinen Fingers geschmolzen und verbrannt; aber alle diese Versuche wurden überstrahlt von dem Schmelzen des schwerflüssigsten Metalls, eines Platinstabes von mehr als 1/4 Zoll Durchmesser und von 2 Fuss Länge."

Die *Wilde*'sche Maschine fand bald mehrfache Anwendung, so u. A. in der berühmten galvanoplastischen Anstalt von *Elkington* in Birmingham, wo sie zu den grossartigen Arbeiten dieses Instituts in Metall-Niederschlägen verwendet wurde. Eine andere Fabrik in Whitechapel benutzte den elektrischen Strom dieser Maschine zur Erzeugung von Ozon, um dieses als Bleichmittel zu verwenden. In den umfangreichen photographischen Ateliers von *Woodbury* und von *Saxon & Co.* in Manchester dienten *Wilde*'sche Maschinen zur Erzeugung eines intensiven elektrischen Lichtes, um mittelst desselben zu jeder Zeit und unter allen Witterungsverhältnissen das Druckverfahren zu beschleunigen. In dem letztgenannten Etablissement soll die Maschine bei Tag und Nacht in Thätigkeit gewesen sein, so dass die Herstellung der schärfsten photographischen Abdrücke innerhalb 24 Stunden nach der Aufnahme garantirt wurde. In Frankreich hat die Gesellschaft *l'Alliance* das Recht erworben, den Apparat zur Beleuchtung der Leuchtthürme anzuwenden.

Ungeachtet dieser grossartigen Leistungen hat die *Wilde*'sche Maschine doch keine allgemeine Verbreitung gefunden. Es ist nämlich zu bemerken, dass bei der ausserordentlichen Geschwindigkeit, mit welcher die Cylinder rotiren und demgemäss in ihren Eisenkernen die Polarität wechselt, dieselben sich sehr stark erhitzen und dann die Intensität des Stromes abnimmt. So viel aus der Veröffentlichung der Versuche bekannt geworden ist, hat es nicht gelingen wollen, mit der *Wilde*'schen Maschine das elektrische Licht acht oder zehn

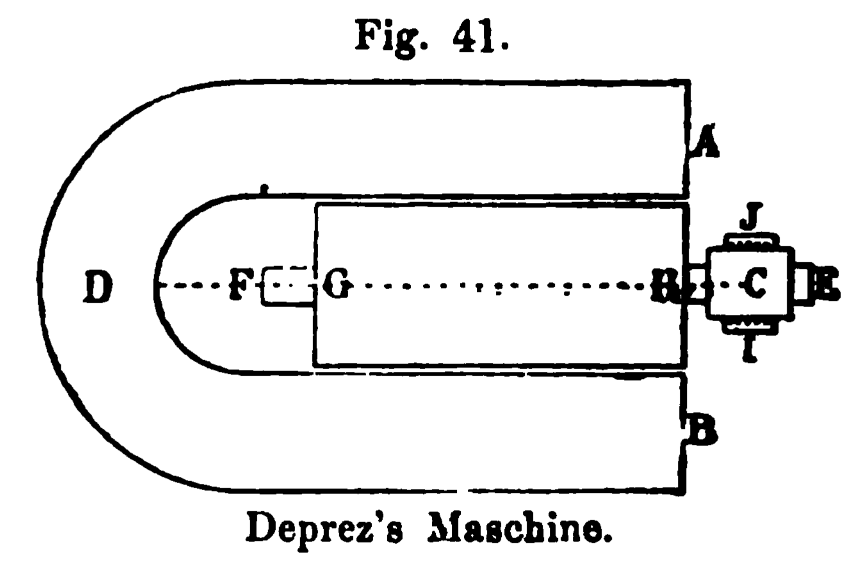
Stunden constant zu erhalten, was doch von dem Lichte eines Leuchtthurmes verlangt werden muss.

Man sieht leicht ein, dass die Möglichkeit der zunehmenden Verstärkung des Magnetismus in den Eisenplatten der feststehenden Elektromagnete der molekularen Trägheit eben dieser Eisenmasse zuzuschreiben ist. In Folge dieser Trägheit hat der jedesmal vorhandene freie Magnetismus des Elektromagnets nicht Zeit, während des äusserst kurzen Intervalls zwischen zwei aufeinanderfolgenden Inductionsströmen, wie sie der Inductor liefert, zu verschwinden oder überhaupt nur abzunehmen. Dadurch kommt es, dass bei einer sehr schnellen Umdrehung des Inductors die durch den Commutator gleich gerichteten Inductionsströme ihre magnetisirende Wirkung auf die eisernen Kerne des Elektromagnets voll ausüben und trotz der intermittirenden Wirkung doch den Magnetismus der Eisenschenkel fortwährend steigern, die dann, wie bereits gesagt, ihrerseits wieder mit dieser erhöhten magnetischen Kraft auf den zweiten Cylinder-Inductor wirken und so Ströme erzeugen, deren Intensität durch die Masse des verwendeten Eisens und die zur Rotation der Cylinder aufgewandte Arbeit bestimmt wird.

19. Magnet-elektrische Maschine von Deprez. Eine Verbesserung der vorhin beschriebenen magnet-elektrischen Maschinen strebte *Marcel Deprez* durch eine bessere Ausnutzung des magnetischen Feldes an. Mit Recht bemerkt *Deprez*, dass bei den seither construirten Maschinen thatsächlich bloss das Inductionsvermögen der Polenden ausgenutzt wird, wahrscheinlich, weil man annahm, dass die Gegenwart von magnetischen Massen oder beweglichen Schliessungskreisen, die vor den Polen aufgestellt sind, die disponible inducirende Wirkung der übrigen Theile des Magnets beträchtlich vermindert. Eine solche Anschauungsweise ist indessen unrichtig, wie schon aus den Resultaten mit einer kleinen Maschine hervorgeht, welche *Deprez* in

folgender Weise anordnete (vgl. Fig. 41). *A D B* ist ein permanenter Hufeisenmagnet, zwischen dessen Schenkeln sich ein *Siemens*'scher Inductor *F G H C* befindet, der um die Achse *F C* beweglich und mit einem einfachen Commutator bei *C* versehen ist, an welchem die beiden Bürsten *J* und *I* sich reiben und so den Strom nach aussen fortleiten. Die Länge des *Siemens*'schen Inductors ist fast genau so gross wie die geraden Theile der Schenkel des Magnets, so dass die ganze inducirende Kraft dieser Schenkel verwerthet wird.

Fig. 41.



Deprez's Maschine.

Das erste ausgeführte Modell hatte die folgenden Dimensionen:

Die Länge des Hufeisenmagnets, gemessen von den Polflächen bis zum Scheitel des gekrümmten Theiles.......	145mm
Innerer Abstand der Schenkel....................	33 "
Dicke des Magnetmagazins.......................	25 "
Durchmesser des *Siemens*'schen Inductors...........	32 "
Länge des Eisenkerns............................	60 "
Gewicht des Magnets	1,70kg
Gewicht des ganzen Apparats....................	2,85kg.

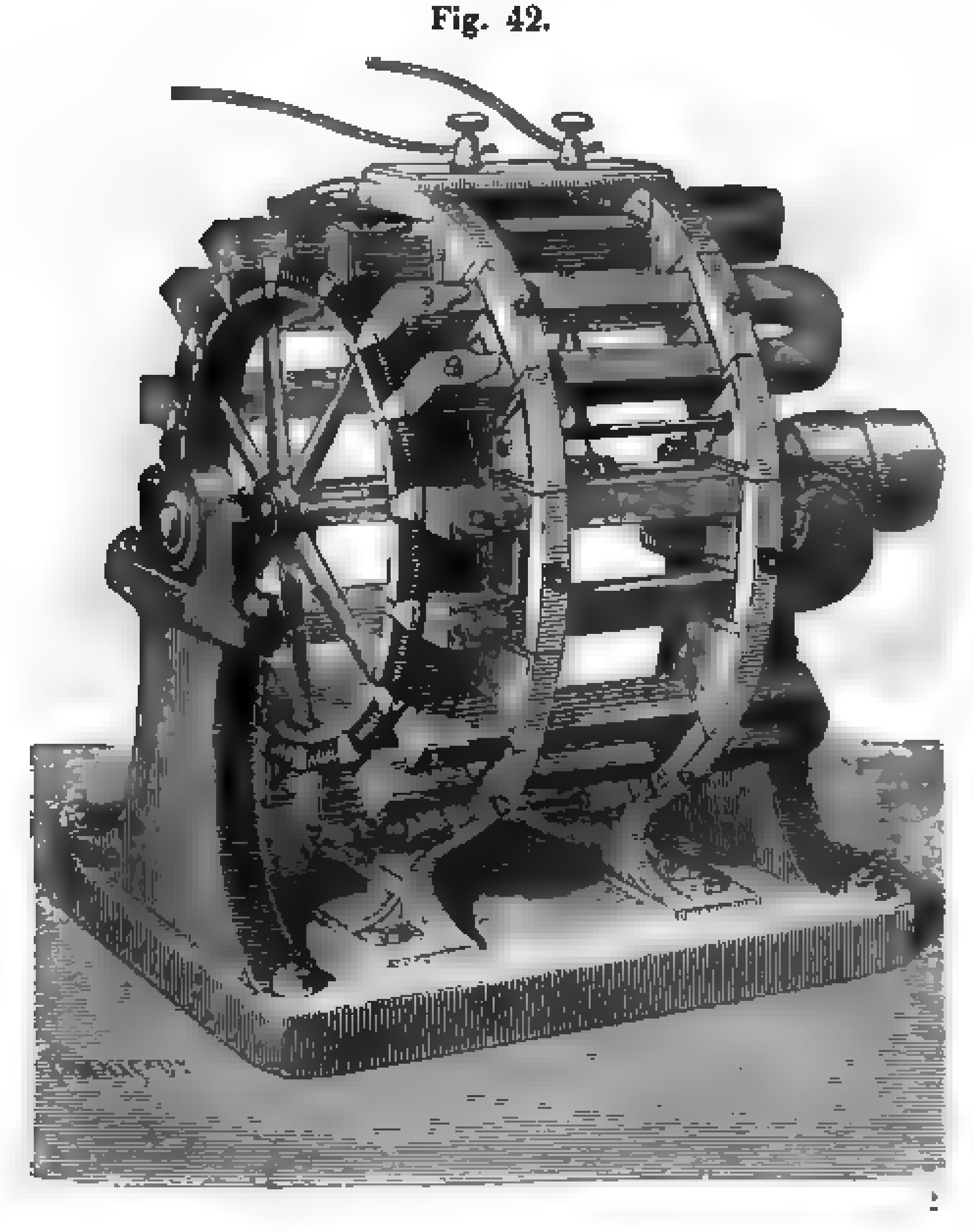
Deprez erhielt mit dieser kleinen Maschine alle Wirkungen wie mit drei *Bunsen*'schen Elementen. Sie ist auch umkehrbar und bildet einen guten kleinen Motor für Laboratoriumszwecke. Die in der Secunde entwickelte Arbeit in Kilogramm-Meter betrug 0,04 0,20 0,45 0,75 1,10 1,80 wenn die Maschine durch 1 2 3 4 5 8 *Bunsen*'sche Elemente in Thätigkeit versetzt wurde. Liess dieses Resultat zur Zeit erwarten, dass die Beobachtungen

Depres's bei der Construction neuer Maschinen nicht unbeachtet blieben, so bestätigte sich diese Ansicht bald nachher, als *Heinrichs* und *Desmond G. Fitzgerald* (s. A. IV.) dynamo-elektrische Maschinen construirten, deren Inductoren fast ganz von den Elektromagneten eingeschlossen wurden.

Ziemlich neuen Datums (16. April 1878) ist schliesslich

20. Die magnet-elektrische Maschine von Méritens, welche

Fig. 42.

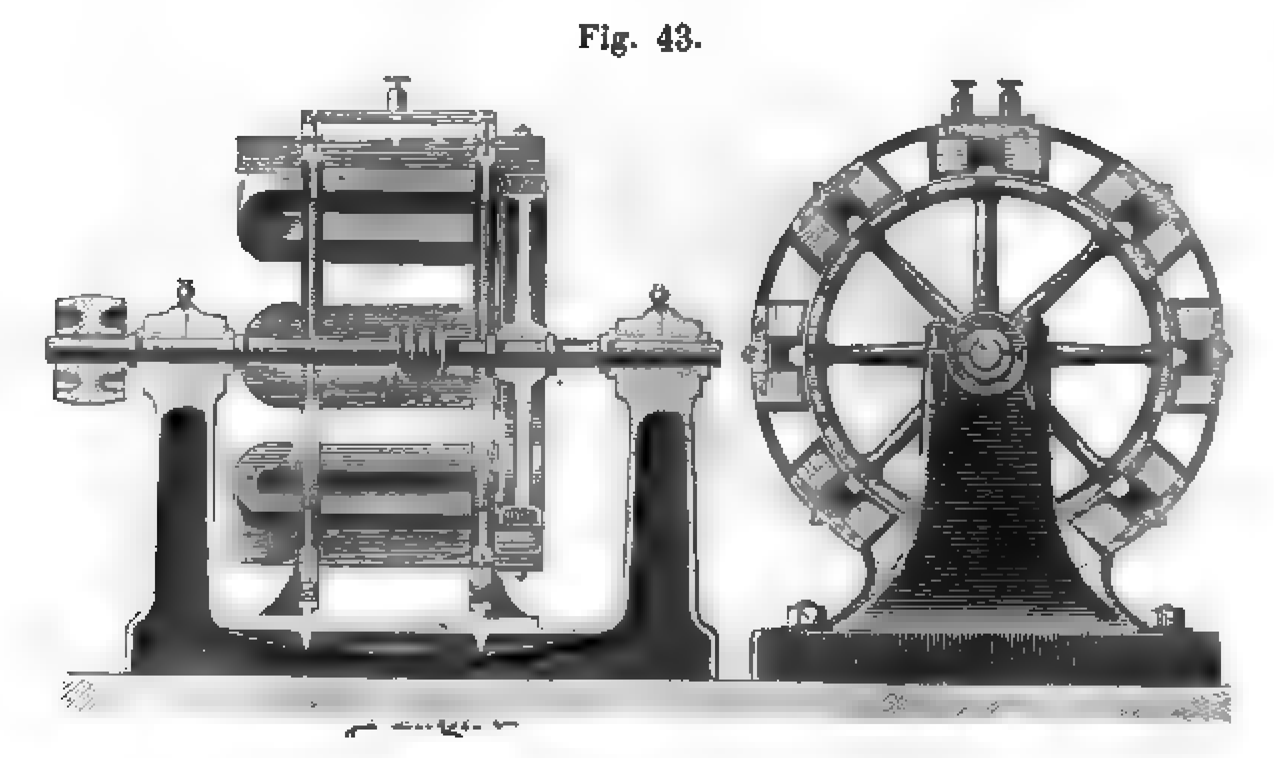


Maschine von de Méritens.

sich zwar wiederum den *Alliance*-Maschinen nähert, von diesen jedoch insbesondere durch eine eigenartige Construction des Inductors abweicht.

Die wesentlichen Theile der Maschine von *de Méritens* (Fig. 42) sind, wie die Fig. 42, 43 und 44 zeigen, eine Reihe von acht an einem starken Doppelgestelle von Bronze horizontal befestigten Stahlmagneten und ein auf einer horizontalen Welle mittelst acht Speichen befestigter Radkranz (Inductor), auf welchem sich in gleichen Abständen von einander 16 Drahtspulen befinden, welche bei der Drehung der Welle sehr nahe unter den 16 Magnetpolen vorbei rotiren.

Fig. 43.



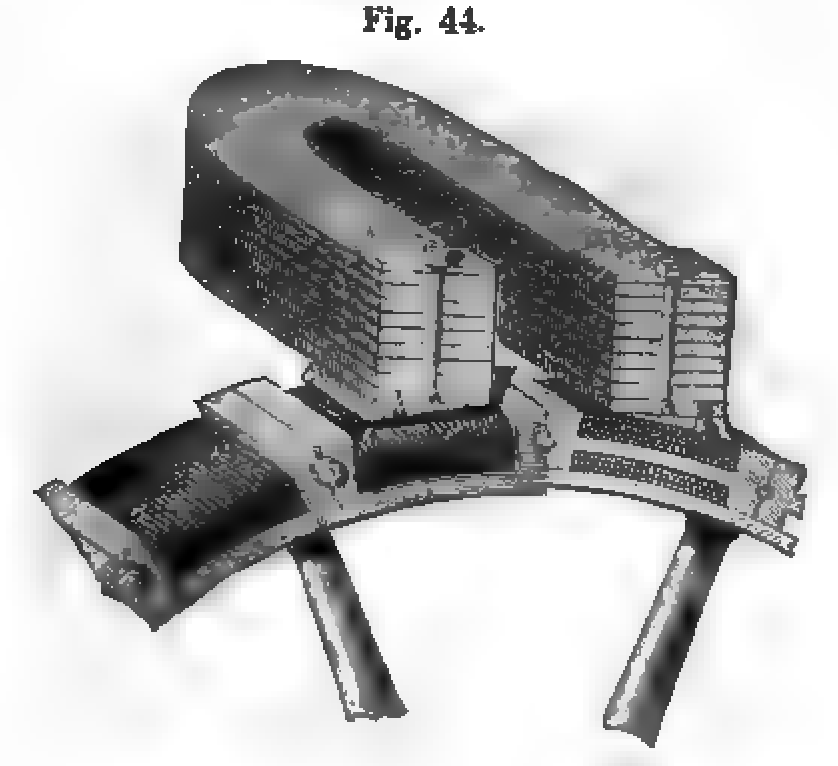
Magnet-elektrische Maschine von de Méritens.

Zum bessern Verständnisse der Art und Weise, wie die inducirten Ströme entstehen, nehmen wir nach *du Moncel* statt der 8 Stahlmagnete mit 16 Polen nur 2 Magnete mit 4 Polen (Fig. 45), und dem entsprechend den eisernen Ring aus 4 Segmenten bestehend, welche von einander magnetisch isolirt und mit Draht umwickelt sind. Jeder dieser Eisenkerne besteht aus 50 und mehr 1 mm dicken Eisenblättern und trägt an jedem Ende eine aus ähnlichen Blättern bestehende Verstärkung *A B*, zwischen welchen die Drahtwindungen eingelagert sind. Die zwei aneinandergränzenden Kopfstücke *A B* werden durch Kupferstücke *C D* fest mit

einander verbunden, so dass der ganze Ring (wie in der Figur 45) 4, in der Wirklichkeit aber 16 kräftige Elektromagnete darstellt, welche bei der Drehung des Ringes dicht unter den 16 alternirend entgegengesetzten Polen der Stahlmagnete rotiren.

Nähert sich bei einer Drehung von links nach rechts der Eisenkopf *B* dem Südpole *S* des nächsten Stahlmagnets, so

Fig. 44.



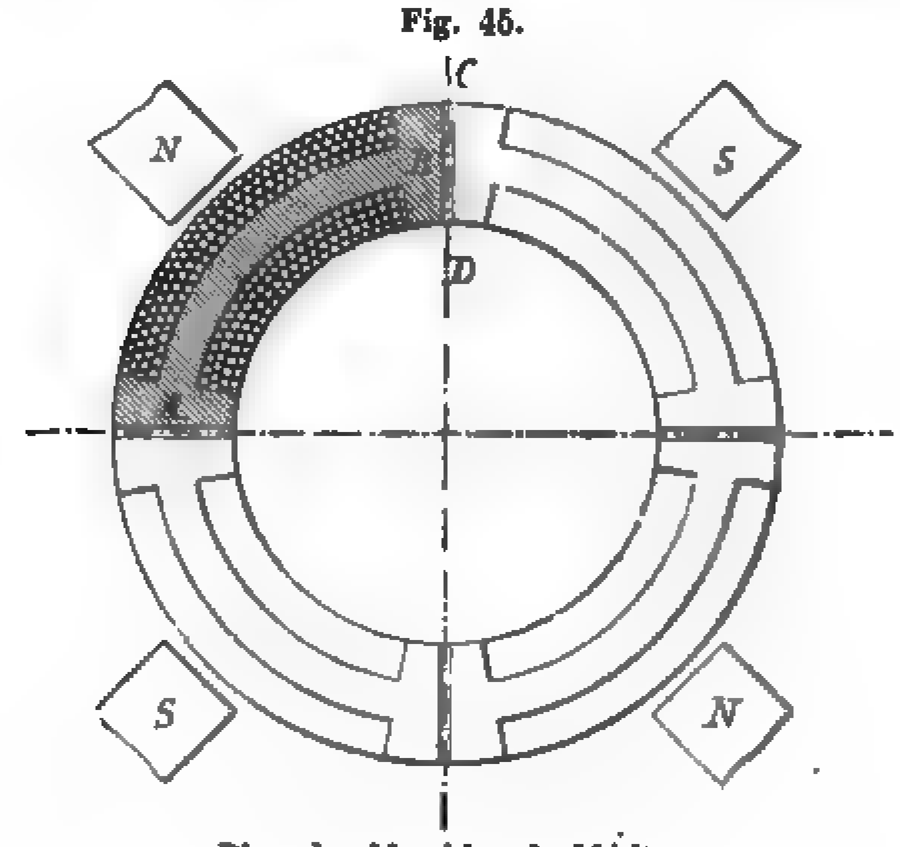
Ein Stück des Ringes der Maschine de Méritens.

wird in der Drahtspule *B A*, wie in den oben beschriebenen magnet-elektrischen Maschinen, ein Inductionsstrom erzeugt von entgegengesetzter Richtung zu denjenigen Solenoidströmen, die nach der *Ampère*'schen Ansicht den Magnetpol *S* umkreisen. Andererseits erzeugt der Pol *S* in dem innern Eisenkerne des Ringes einen Nordpol, welcher sich bei der Drehung des Ringes im Innern der Drahtspule verschiebt und eben hierdurch einen zweiten Inductionsstrom hervorruft. Diese Ströme sind um so energischer, je geringer die Entfernung ist zwischen den Drähten und Eisenköpfen *A B* einerseits und den Magnetpolen *S N* andererseits. Zu diesen zwei Stromsystemen gesellt sich dann noch

6*

ein dritter Inductionsstrom, welcher aus der directen Bewegung der Drahtspule durch das magnetische Feld des Pols *S* entsteht und der auch entstehen würde, wenn der innere metallische Ring fehlte oder aus einem andern Material als Eisen bestände. Wenn der Kopf *B* den Pol *S* verlässt, verliert er seinen Magnetismus wieder und es entsteht mit dem Entweichen des Magnetismus in der Drahtspule ein

Fig. 45.



Ring der Maschine de Méritens.

Strom, demjenigen entgegengesetzt, welcher bei der vorgängigen Annäherung von *B* an *S* entstand. Ebenso wiederholen sich die anderen Vorgänge im entgegengesetzten Sinne, wobei es sich von selbst versteht, dass das, was von einem Theile des Ringes gilt, gleichzeitig auch für die übrigen Theile gelten muss.

Die Drahtwindungen haben auf allen einzelnen Ringstücken die gleiche Richtung; das äussere Drahtende der einen Spule ist mit dem äussern Drahtende der nächstfolgenden Spule, und ebenso das innere Drahtende der ersteren Spule mit dem innern Ende der letzteren Spule

zusammengelöthet, so dass die in den einzelnen Ringstücken erzeugten Wechselströme im ganzen Ringe eine und dieselbe Richtung haben. Die beiden Enden des gesammten Drahtes, welche als die Pole der Maschine zu betrachten sind, sind an zwei Kupferringen befestigt, welche von einander und von der Achse des Inductorrades isolirt auf dieser Achse fest aufsitzen. Auf diesen Ringen schleifen dann zwei kupferne Federn, welche die alternirenden Ströme des Ringes aufnehmen und zu zwei Klemmen führen, von wo aus die Leitung nach aussen abgeht.

Die wesentlichen Vorzüge der Maschine von *de Méritens* bestehen theils darin, dass die einzelnen Ringstücke ganz von einander getrennt sind und die Umwickelung ihrer Kerne gar keine Schwierigkeiten macht, wogegen sowohl bei den *Siemens*'schen als auch bei den *Gramme*'schen magnet-elektrischen Maschinen[1]) die Bewickelung der Trommel resp. des Ringes mit sehr grossen Schwierigkeiten verbunden ist; theils auch darin, dass die Maschine weder Commutator noch Stromsammler, also auch keinen Stromverlust hat. Uebrigens lässt sich die Verbindung der Drahtspulen unter einander auch so herstellen, dass die einzelnen Spulen je nach der Art der Verwendung beliebig hintereinander oder nebeneinander geschaltet werden können.

Nach vielen Angaben scheint es, dass unter allen magnet-elektrischen Maschinen mit Stahlmagneten die Maschine von *de Méritens* für einen gegebenen Kraftaufwand den grössten Lichteffect gibt. In der That unterhalten diese Maschinen bei einem Kraftaufwande von nicht mehr als einer Pferdekraft und bei nur 700 Touren in der Minute das Licht von drei *Jablochkoff*'schen Kerzen in ununterbrochener Thätigkeit, ohne sich merklich zu erhitzen; doch scheint die Lichtstärke jeder dieser Kerzen weniger intensiv zu sein, als bei Anwen-

---

[1]) Siehe Abtheilung IV.

dung der *Siemens*'schen oder der *Gramme*'schen Maschinen. Mit den grösseren Lichtmaschinen dieser beiden letzteren Systeme kann die Maschine *Méritens* den Vergleich keinenfalls aushalten, während sie für kleinere Stromwirkungen, also zu Laboratoriumszwecken, für physikalische Cabinette, Theater-Effecte u. s. w. durchaus vortheilhaft erscheint.

Neuerdings ist auch ein grösseres Modell der Maschine von *Méritens* construirt worden, welches dem Aeussern nach der *Alliance*-Maschine sehr gleicht, von dieser jedoch durch den vorhin beschriebenen Inductor abweicht. Das grössere Modell ist von der englischen Regierung zum Gebrauche auf Leuchtthürmen adoptirt worden.

III. Abtheilung.

Die dynamo-elektrischen Maschinen.

21. Das Siemens'sche Princip der dynamo-elektrischen Maschinen. — Priorität zu Gunsten von Siemens gegen Wheatstone.[1]) Auf der Pariser Ausstellung vom Jahre 1867 befand sich in der englischen Abtheilung der Maschinen-Galerie eine Maschine, welche die Ueberschrift trug: „*Dynamo-Magneto-Machine*, New Principle of Conversion of Dynamic Force, by *W. Ladd*“. Die Maschine wurde durch die über ihr weglaufende allgemeine Transmission der Maschinen-Galerie in Bewegung gesetzt und erzeugte bei der Rotation zweier Cylinder ein blendendes elektrisches Kohlenlicht ohne Anwendung einer galvanischen Batterie und ohne dass während des Zustandes der Ruhe irgend welche magnetische Kraft in ihr wahrgenommen wurde. Die Maschine erregte daher grosses Aufsehen und war fast immer von zahlreichen Bewunderern umlagert, die sich durch gegenseitiges Befragen bemühten, das New Principle der Maschine aufzufinden und zu verstehen. Der Mann von Fach suchte darin freilich dieses neue Princip der Umwandlung der mechanischen Kraft nicht, weil es ihm an dieser Maschine nicht mehr neu war und er recht wohl wusste,

---

[1]) *Schellen,* Die dynamo-elektrischen Maschinen. Carl's Repertorium der Physik, Bd. IV, S. 65.

dass in der preussischen Abtheilung der Maschinen-Galerie eine kleinere, aber nach demselben Princip gebaute und praktisch zum Zünden von Minen eingerichtete Maschine von *Siemens & Halske* in Berlin ausgestellt war, welche von der Hand in Bewegung gesetzt wurde und daher zwar immer noch starke, aber im Verhältnisse zu der mehrere Pferdekräfte beanspruchenden *Ladd*'schen Maschine schwächere Funken gab, welche aber, wie diese, nach denjenigen Principien construirt war, die *Dr. W. Siemens* bereits im Januar 1867 der Berliner Akademie mitgetheilt hatte.

Welchen Antheil *Ladd* an der Ausbildung der dynamo-elektrischen, oder wie sie auch wohl genannt werden, der Dynamo-Magnet-Maschinen hat, wird sich weiter unten ergeben; wir müssen aber schon hier erklären, dass sich seine Ansprüche in keiner Weise auf die theoretischen Principien beziehen, welche diesen Maschinen zur Grundlage dienen, sondern nur die äussere Einrichtung und die Disposition einzelner Theile betreffen.

Nachdem *Siemens* bereits im December 1866 vor mehreren berliner Physikern mit einer nach dem neuen Princip gebauten eincylindrigen Maschine, die keine Stahlmagnete besass, experimentirt hatte, kam seine Mittheilung, die er an die Berliner Akademie der Wissenschaften gerichtet hatte, Mitte Januar 1867 vor diesem Institute zur Verhandlung. Da der Inhalt dieses Vortrages für die Feststellung der Priorität hinsichtlich des Princips und der Construction der dynamo-elektrischen Maschinen entscheidend ist und sich dieses Princip selbst in demselben klar und bestimmt ausspricht, so lassen wir denselben, wie er als vorläufige Anzeige unter der sehr bezeichnenden Ueberschrift: „Ueber die Umwandlung von Arbeitskraft in elektrischen Strom ohne Anwendung permanenter Magnete von *W. Siemens*“ in dem Februarheft von Poggendorff's Annalen (1867) abgedruckt ist, hier folgen.

„Wenn man zwei parallele Drähte, welche Theile des Schliessungskreises einer galvanischen Kette bilden, einander nähert oder entfernt, so beobachtet man eine Schwächung oder eine Verstärkung des Stromes der Kette, je nachdem die Bewegung im Sinne der Kräfte, welche die Ströme aufeinander ausüben, oder im entgegengesetzten statt findet. Dieselbe Erscheinung tritt in verstärktem Maasse ein, wenn man die Polenden zweier Elektromagnete, deren Windungen Theile desselben Schliessungskreises bilden, einander nähert oder von einander entfernt. Wird die Richtung des Stromes in dem einen Drahte im Augenblick der grössten Annäherung und Entfernung umgekehrt, wie es bei elektro-dynamischen Rotationsapparaten der elektromagnetischen Maschinen auf mechanischem Wege ausgeführt wird, so tritt eine dauernde Verminderung der Stromstärke der Kette ein, sobald der Apparat sich in Bewegung setzt. Diese Schwächung des Stromes der Kette durch Gegenströme, welche durch die Bewegung im Sinne der bewegenden Kräfte erzeugt werden, ist so bedeutend, dass sie den Grund bildet, warum elektromagnetische Kraftmaschinen nicht mit Erfolg durch galvanische Ketten betrieben werden können. Wird dagegen eine solche Maschine durch eine äussere Arbeitskraft im entgegengesetzten Sinne gedreht, so muss der Strom der Kette durch die jetzt ihm gleichgerichteten inducirten Ströme verstärkt werden. Da diese Verstärkung des Stromes auch eine Verstärkung des Magnetismus des Elektromagnets, mithin auch eine Verstärkung des folgenden inducirten Stromes hervorbringt, so wächst der Strom der Kette in rascher Progression bis zu einer solchen Höhe, dass man letztere selbst ganz ausschalten kann, ohne eine Verminderung des Stromes wahrzunehmen. Unterbricht man die Drehung, so verschwindet natürlich auch der Strom, und der feststehende Elektromagnet verliert seinen Magnetismus.

„Der geringe Grad von Magnetismus, welcher

auch im weichsten Eisen stets zurückbleibt, genügt aber, um bei wieder eintretender Drehung das progressive Anwachsen des Stromes im Schliessungskreise von Neuem einzuleiten. Es bedarf daher nur eines einmaligen kurzen Stromes einer Kette durch die Windungen des festen Elektromagnets, um den Apparat für alle Zeit leistungsfähig zu machen.

„Die Richtung des Stromes, welchen der Apparat erzeugt, ist von der Polarität des rückbleibenden Magnetismus abhängig. Aendert man dieselbe vermittelst eines kurzen entgegengesetzten Stromes durch die Windungen des festen Magnets, so genügt dieses, um auch allen später durch Rotation erzeugten mächtigen Strömen die umgekehrte Richtung zu geben.

„Die beschriebene Wirkung muss zwar bei jeder elektromagnetischen Maschine eintreten, die auf Anziehung und Abstossung von Elektromagneten begründet ist, deren Windungen Theile desselben Schliessungskreises bilden; es bedarf aber doch besonderer Rücksichten zur Herstellung von elektrodynamischen Inductoren von grosser Wirkung. Der von den commutirten, gleichgerichteten Strömen umkreiste feststehende Magnet muss eine hinreichende magnetische Trägheit haben, um auch während der Stromwechsel den in ihm erzeugten höchsten Grad des Magnetismus ungeschwächt beizubehalten, und die sich gegenüberstehenden Polflächen der beiden Magnete müssen so beschaffen sein, dass der feststehende Magnet stets durch benachbartes Eisen geschlossen bleibt, während der bewegliche sich dreht. Diese Bedingungen werden am besten durch die von mir vor längerer Zeit in Vorschlag gebrachte und seitdem von mir und Anderen vielfältig benutzte Anordnung der Magnet-Inductoren erfüllt. Der rotirende Elektromagnet besteht bei denselben aus einem um seine Achse rotirenden Eisencylinder, welcher mit zwei

gegenüberstehenden, der Achse parallel laufenden Einschnitten versehen ist, die den isolirten Umwindungsdraht aufnehmen. Die Polenden einer grösseren Zahl von Stahlmagneten oder im vorliegenden Falle die Polenden des feststehenden Elektromagnets umfassen die Peripherie dieses Eisencylinders in seiner ganzen Länge mit möglichst geringem Zwischenraume. (§. 16.)

„Mit Hülfe einer derartig eingerichteten Maschine kann man, wenn die Verhältnisse der einzelnen Theile richtig bestimmt sind und der Commutator richtig eingestellt ist, bei hinreichend schneller Drehung in geschlossenen Leitungskreisen von geringem unwesentlichem Widerstande Ströme von solcher Stärke erzeugen, dass die Umwindungsdrähte der Elektromagnete durch sie in kurzer Zeit bis zu einer Temperatur erwärmt werden, bei welcher die Umspinnung derselben verkohlt. Bei anhaltender Benutzung der Maschine muss diese Gefahr durch Einschaltung von Widerständen oder durch Mässigung der Drehungsgeschwindigkeit vermieden werden.

„Während die Leistung der magnet-elektrischen Inductoren nicht in gleichem Verhältnisse mit der Vergrösserung ihrer Dimensionen zunimmt, findet bei der beschriebenen das umgekehrte Verhältniss statt. Es hat dies darin seinen Grund, dass die Kraft der Stahlmagnete in weit geringerem Verhältnisse zunimmt, als die Masse des zu ihrer Herstellung verwendeten Stahles, und dass sich die magnetische Kraft einer grossen Anzahl kleiner Stahlmagnete nicht auf eine kleine Polfläche concentriren lässt, ohne die Wirkung sämmtlicher Magnete bedeutend zu schwächen oder sie zum Theil ganz zu entmagnetisiren. Magnet-Inductoren mit Stahlmagneten sind daher nicht geeignet, wo es sich um Erzeugung sehr starker andauernder Ströme handelt. Man hat es zwar schon mehrfach versucht, solche kräftige magnetelektrische Inductoren herzustellen und auch so kräftige

Ströme mit ihnen erzeugt, dass sie ein intensives elektrisches Licht gaben, doch mussten diese Maschinen kolossale Dimensionen erhalten, wodurch sie sehr kostbar wurden. (Die *Alliance-* und *Wilde*'schen Maschinen.) Die Stahlmagnete verloren bald den grössten Theil ihres Magnetismus und die Maschine ihre anfängliche Kraft.

„Neuerdings hat der Mechaniker *Wilde* in Birmingham die Leistungsfähigkeit der magnet-elektrischen Maschinen dadurch wesentlich erhöht, dass er zwei Magnet-Inductoren meiner oben beschriebenen Construction zu einer Maschine combinirte. Den einen grössern dieser Inductoren versieht er mit einem Elektromagnet an Stelle der Stahlmagnete und verwendet den andern zur dauernden Magnetisirung dieses Elektromagnets. Da der Elektromagnet kräftiger wird als die Stahlmagnete, welche er ersetzt, so muss auch der erzeugte Strom durch diese Combination in mindestens gleichem Maasse verstärkt werden.

„Es lässt sich leicht erkennen, dass *Wilde* durch diese Combination die geschilderten Mängel der Stahlmagnet-Inductoren wesentlich vermindert hat. Abgesehen von der Unbequemlichkeit der gleichzeitigen Verwendung zweier Inductoren zur Erzeugung eines Stromes, bleibt sein Apparat doch immer abhängig von der unzuverlässigen Leistung der Stahlmagnete.

„Der Technik sind gegenwärtig die Mittel gegeben, elektrische Ströme von unbegrenzter Stärke auf billige und bequeme Weise überall da zu erzeugen, wo Arbeitskraft disponibel ist. Diese Thatsache wird auf mehreren Gebieten derselben von wesentlicher Bedeutung werden.“

So der Vortrag von *W. Siemens.* Nicht bloss die Principien der neuen Maschine, welche die Umwandlung der Arbeit in Elektricität zum Zwecke hat, liegen in demselben klar ausgesprochen, es sind auch die wesentlichen

Bedingungen, unter denen die Construction derselben ausgeführt werden muss, mit völliger Bestimmtheit angezeigt.

Auf Veranlassung des *Dr. W. Siemens* in Berlin liess sein Bruder *William Siemens* in London eine kleine dynamoelektrische Maschine anfertigen und kündigte darüber der *Royal Society* daselbst unter dem Titel: „*On the Conversion of Dynamical into Elektrical Force, without the aid of permanent Magnetism*" auf den 14. Februar 1867 einen Vortrag an. Die Anmeldung derartiger Vorträgė geschieht 14 Tage vorher per Circular.

Nach erfolgter Ankündigung dieses Vortrages kündigte Professor *Wheatstone* für dieselbe Sitzung einen Vortrag an unter dem Titel: „*On the Augmentation of the Power of a Magnet by the Rotation thereon of Currents induced by the Magnet itself.*"

In der Sitzung der *Royal Society* vom 14. Februar kam daher *Wheatstone* mit seinem Vortrage dicht hinter *Siemens* und es zeigte sich dabei, dass beide Physiker in ihren Vorträgen ziemlich dieselben Thatsachen, Grundsätze und Folgerungen behandelten. Der Vortrag von *Wheatstone* lautete folgendermaassen:

„Die bisher beschriebenen magnet-elektrischen Maschinen werden in Gang gesetzt durch permanente Magnete oder durch Elektromagnete, welche ihre Kraft von irgend einem in ihren Drahtwindungen eingeschalteten Rheomotor erhalten. In dieser Abhandlung beabsichtige ich nun zu zeigen, dass ein Elektromagnet, wenn man ihm nur vorher die geringste Polarität ertheilt hat, die stärkste magnetische Kraft annehmen kann, wenn man ihm gestattet, inducirte Ströme zu erzeugen, die dann wieder auf ihn zurückwirken. Ich gebe zu dem Ende die Beschreibung des Elektromagnets, mit welchem ich die Versuche gemacht habe; seine Construction stimmt mit dem elektromagnetischen Theile der *Wilde*'schen Maschine sehr nahe überein.

„Der Kern des Elektromagnets besteht aus einer im Ganzen 15 Zoll (engl.) langen, hufeisenförmig gebogenen und 1/2 Zoll breiten Lamelle von weichem Eisen. Jeder 7 1/2 Zoll lange Schenkel ist mit einem Kupferdrahte von 640 Fuss Länge und 1/2 Zoll Dicke umwickelt.

„Die Armatur besteht nach der sinnreichen Einrichtung von *Siemens* aus einem rotirenden Cylinder von weichem Eisen, 8 1/2 Zoll im Durchmesser, auf welchem 80 Fuss Kupferdraht von derselben Sorte, wie sie der Elektromagnet hat, in der Richtung der Längenachse aufgewickelt sind.

„Wenn man nun in die Drahtwindungen des Elektromagnets irgend eine Stromquelle einschaltet, welche einen Strom von unveränderter Richtung liefert, so entstehen bei der Rotation des Cylinders (der Armatur) in dem ihn umgebenden Drahte bei jeder halben Umdrehung Ströme von entgegengesetzter Richtung, welche entweder als entgegengesetzte oder als gleichgerichtete Ströme weiter geführt werden können, je nachdem man einen Commutator anwendet oder nicht.

„Bleibt der Cylinder in Rotation und sein Stromkreis geschlossen, und man entfernt dann aus dem Stromkreise des Elektromagnets die erregende Stromquelle, so findet man mittelst eines eingeschalteten Galvanometers, dass die Inductionsströme des Cylinders schwach sind; sie nehmen zwar in demselben Maasse zu, als der durch das weggenommene Element erzeugte und in dem Elektromagnet zurückgebliebene Magnetismus grösser ist, aber sie erreichen niemals eine erhebliche Stärke.

„Ganz anders aber stellt sich die Sache, wenn man die Enden der beiden Drahtwindungen zu einer einzigen continuirlichen Drahtleitung derart vereinigt, dass die Inductionsströme des rotirenden Cylinders vermittelst eines diese Ströme gleichrichtenden Commutators in die Spirale des Elektromagnets geleitet werden. Geschah dieses in der Art,

dass durch die Ströme der Armatur die permanente Polarität des Elektromagnets verstärkt wurde, so erforderte die Drehung der Armatur eine weit grössere Kraft als vorher, und der in dem Drahtgewinde auftretende Strom, dessen Stärke an einem Galvanometer gemessen werden konnte, erreichte eine solche Intensität, dass ein Platindraht von vier Zoll Länge und einer Linie Dicke glühend, ein grosser Elektromagnet stark magnetisch und das Wasser zersetzt wurde.

„Diese Erscheinungen können auf folgende Weise erklärt werden: Der Elektromagnet behält stets einen geringen Grad von permanentem Magnetismus und verhält sich daher wie ein schwacher Stahlmagnet. Bei der Drehung der Armatur entstehen daher in seinen Drahtgewinden schwache Inductionsströme von abwechselnd entgegengesetzter Richtung. Indem diese Ströme durch den Commutator gleiche Richtung erhalten und in dem vorher bezeichneten Sinne durch die Drahtwindungen des Elektromagnets circuliren, verstärken sie den Magnetismus der Eisenkerne. Die so verstärkten Pole des Elektromagnets wirken dann ihrerseits wieder auf die Armatur und erzeugen in dem Drahtgewinde dieser letzteren Ströme von grösserer Intensität als anfänglich. Diese gegenseitige Verstärkung der Inductionsströme und des Elektromagnets dauert so lange, bis in dem Elektromagnet ein Maximum der magnetischen Kraft eingetreten ist, welches von der magnetischen Capacität seiner Eisenmasse und der Geschwindigkeit der Rotation abhängig ist.

„Wenn man dagegen die Enden der beiden Drahtgewinde derart verbindet, dass die durch die Windungen des Elektromagnets gehenden Inductionsströme der Armatur in jenen eine magnetische Polarität hervorrufen, welche der des permanenten Magnetismus entgegengesetzt ist, so entstehen keine Inductionsströme und daher auch keine Verstärkung des Magnetismus in dem Elektromagnet.“

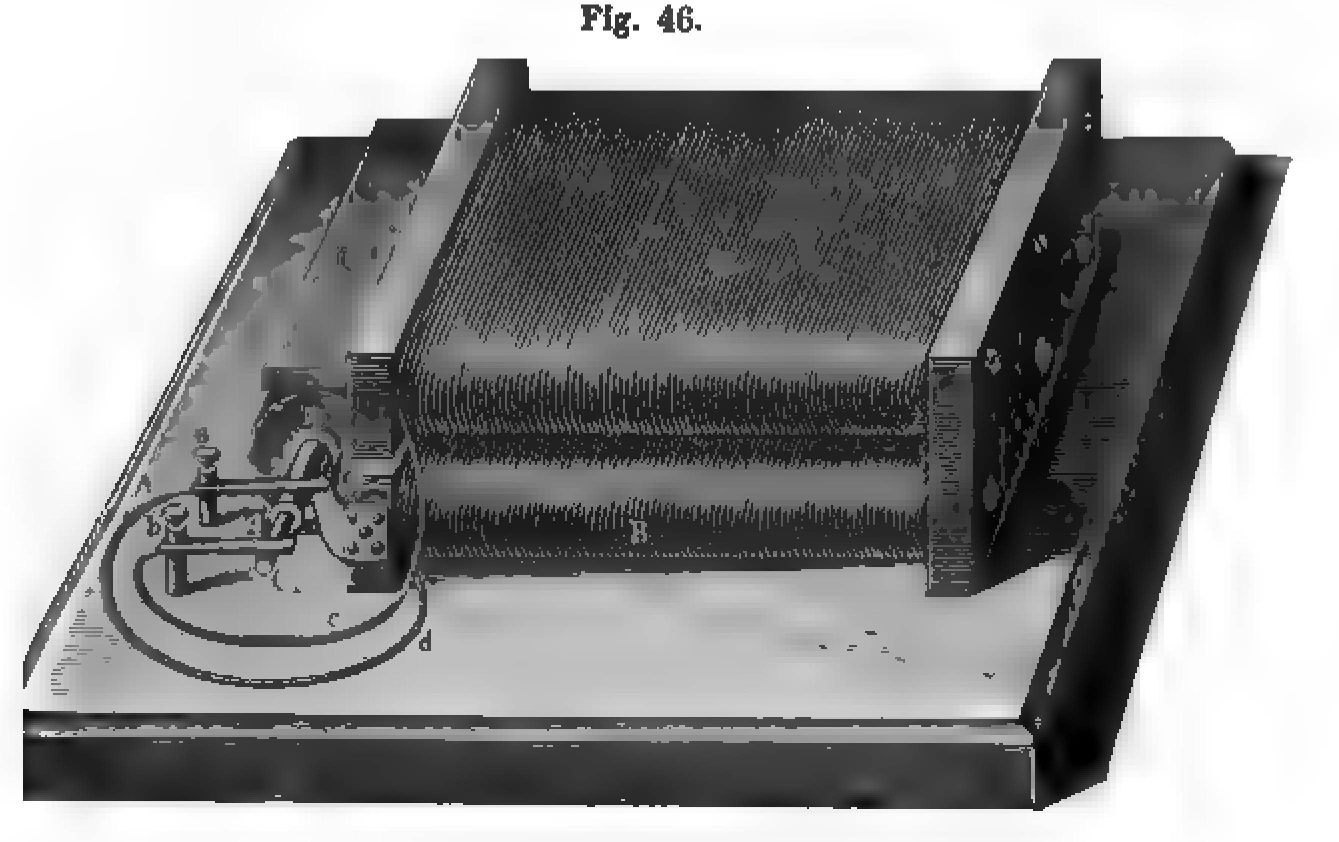
Wheatstone führt dann näher aus, wie diese Erklärung experimental nachgewiesen werden kann, und verbreitet sich noch über die Art und Weise, wie die Wirkungen einer solchen Maschine sich noch verstärken lassen, wenn man den aus dem rotirenden Cylinder austretenden Strom derart verzweigt, dass nur ein kleiner Theil desselben durch das Drahtgewinde des Elektromagnets, der übrige Theil aber durch einen eingeschalteten Nebendraht geht.

Eine Vergleichung der beiden angeführten Vorträge zeigt klar, dass sich die dynamo-elektrische Maschine *Wheatstone's* nicht wesentlich von der *Siemens*'schen unterscheidet, wie denn überhaupt der Vortrag *Wheatstone's* nur solche Facta enthält, welche bereits sechs Wochen früher von *Siemens* publicirt und experimental öffentlich nachgewiesen waren. Wenn es als ein Novum erscheinen könnte, was *Wheatstone* am Schlusse seines Vortrags sagt, dass in seiner Zweigleitung zwischen dem rotirenden Cylinder und dem feststehenden Elektromagnet stärkere Glüh-Erscheinungen anhielten, so lag das einfach daran, dass er das Verhältniss der Widerstände der Umwindungen in dem festen und dem beweglichen Magnet sehr ungleich gemacht hatte, während es für das Maximum der Wirkung gleich gross sein muss.

22. Die Siemens'sche dynamo-elektrische Maschine. Die Einrichtung und die Wirkung einer nach der Construction von *Siemens* gebauten dynamo-elektrischen Maschine einfachster Art ist aus der Figur 46 leicht zu verstehen. *B B* sind flache Kerne von weichem Eisen von etwa 60cm Länge, 50cm Breite und 10cm Dicke, welche etwa 8cm von einander abstehen und je einzeln mit einem gegen 27m langen, dicken und gut isolirten Kupferdrahte umwickelt sind. Die beiden hinteren Enden sind durch eine gemeinsame Eisenplatte zu einem Elektromagnet verbunden, während die beiden vorderen Enden *C C* plattenförmig aus den Drahtwindungen hervorragen, kreissegmentförmig ausgeschnitten

sind und einen *Siemens*'schen Cylinder-Inductor *n* zwischen sich aufnehmen. Die Enden dieser Inductorspirale sind wie gewöhnlich einerseits mit der Cylinderachse, andererseits mit einem isolirt auf dieser Achse sitzenden Kupferringe fest verbunden, und bleiben daher bei der Rotation dieses

Fig. 46.



Die Siemens'sche dynamo-elektrische Maschine.

Inductors vermittelst der Schleiffedern *1 2* stets in leitender Verbindung mit den seitlichen Klemmen *a* und *b*. Da nun letztere in fester Verbindung mit den Enden *d c* der Drahtwindungen des Elektromagnets *B B* stehen, so ist klar, dass die in dem Cylinder-Inductor *n* auftretenden Inductionsströme ihren Weg über *1*, *a*, *d*, *B*, *B*, *c*, *b*, *2* durch die Drahtwindungen des Elektromagnets *B B* nehmen und dessen Magnetismus stärken müssen.

Die Vorrichtung zur Drehung des Cylinders *n* und der Commutator zur Gleichrichtung der Ströme sind in der Zeichnung weggelassen.

Um die Maschine werkthätig zu machen, ist nur erforderlich, den Elektromagnet-Schenkeln *B B* einmal eine

schwache magnetische Polarität zu geben, was am besten dadurch geschieht, dass man vor ihrem ersten Gebrauche den Strom eines galvanischen Elements durch ihre Windungen gehen lässt. Bei der Unterbrechung dieses Stromes bleibt dann so viel (remanenter) Magnetismus in den Eisenschenkeln zurück, als zu jedem spätern Ingangsetzen der Maschine erforderlich ist.

Sobald nun der Cylinder *n* in Rotation versetzt wird, entstehen in Folge der schwachen magnetischen Polarität der Eisenplatten *C C* zuerst ganz schwache Inductionsströme in der Drahtspule dieses Cylinders. Indem jedoch diese Ströme über *a d* und *b c* durch die Windungen des dicken Drahtes um die Schenkel *B B* circuliren, verstärken sie den Magnetismus der Pole *C C* mit jedem neuen Impulse immer mehr, während andererseits eben diese Verstärkung des Magnetismus die fortwährende Verstärkung der Inductionsströme in *n* zur Folge hat. Auf diese Weise wächst die Kraft der Pole *C C* sehr rasch in demselben Maasse, als die Geschwindigkeit der Rotation des Cylinders zunimmt, und zwar bis zu derjenigen Grenze, bei welcher die Eisenschenkel *B* das Maximum der magnetischen Kraft erlangt haben, dessen sie überhaupt fähig sind.

Dass die Möglichkeit der zunehmenden Verstärkung des Magnetismus in den Eisenplatten der molekularen Trägheit eben dieser Eisenmasse zuzuschreiben ist, haben wir schon früher erwähnt; ebenso dass die Intensität der erzeugten Ströme durch die Masse des verwendeten Eisens und Kupferdrahtes und die zur Drehung des Cylinders **aufgewandte Arbeit** bestimmt wird.

Eben weil das Princip dieser Maschine **in der Umwandlung oder Umsetzung der mechanischen Arbeit in Magnetismus oder auch in elektrischen Strom beruht**, hat dieselbe den Namen der **dynamo-elektrischen** oder auch wohl der **dynamo-magnetischen** Maschine erhalten.

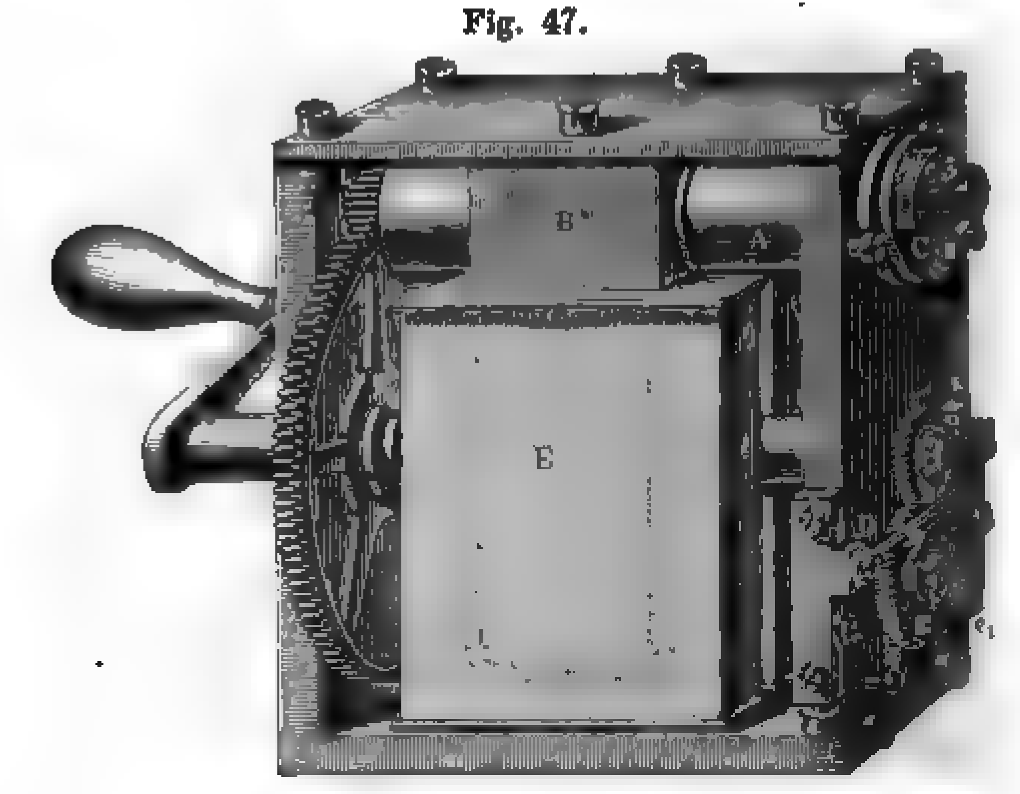
23. Siemens-Halske's dynamo-elektrischer Läute-Inductor und Minenzünder. Wenn man in der vorhin beschriebenen dynamo-elektrischen Maschine, nachdem durch den Aufwand der mechanischen Arbeit bei der Drehung des Cylinders der Magnetismus der Eisenkerne und dadurch wieder die Inductionsströme in den Drahtumwindungen hinreichend gestärkt worden sind, die Drahtleitung an irgend einer Stelle unterbricht, so erhält man einen kräftigen Funken, der zur Zündung von Minen sehr geeignet ist. Ebenso kann man zuerst die Intensität des Magnetismus in den Eisenplatten auf eine gewisse Höhe bringen, indem man die Inductionsströme bloss zur Verstärkung des Magnetismus dieser Eisenschenkel verwendet, und erst dann, wenn das Maximum des Magnetismus erreicht ist, plötzlich den Strom in eine telegraphische Leitung führen; die grosse Intensität des dann auftretenden Inductionsstromes macht denselben zur Auslösung von Läutewerken und anderen Signal-Apparaten besonders geeignet.

Zu einem solchen Zwecke war die erste eincylindrige dynamo-elektrische Maschine von *Siemens* gebaut, mit welcher er bereits im December 1866 vor mehreren Gelehrten öffentlich experimentirte und die später als wissenschaftliches Novum auf der Pariser Welt-Ausstellung erschien.

Aus den Figuren 47 und 48 ist die Anordnung der einzelnen Theile der Maschine zu ersehen. *E* ist der Elektromagnet, dessen beide nach oben hervorragende Pole *B B* halbkreisförmig ausgeschnitten sind und dadurch eine Art Büchse bilden, in welcher der gewöhnliche *Siemens*'sche Cylinder-Inductor frei rotiren kann. Die beiden Polenden des feststehenden Elektromagnets *E* umfassen die Peripherie dieses Cylinders aus einem grossen Theile seiner Länge mit möglichst wenig Zwischenraum. In Fig. 48 ist der rotirende Cylinder unten in seiner wirklichen Lage zwischen den Magnetpolen *B B* und oben in *A* noch einmal dargestellt,

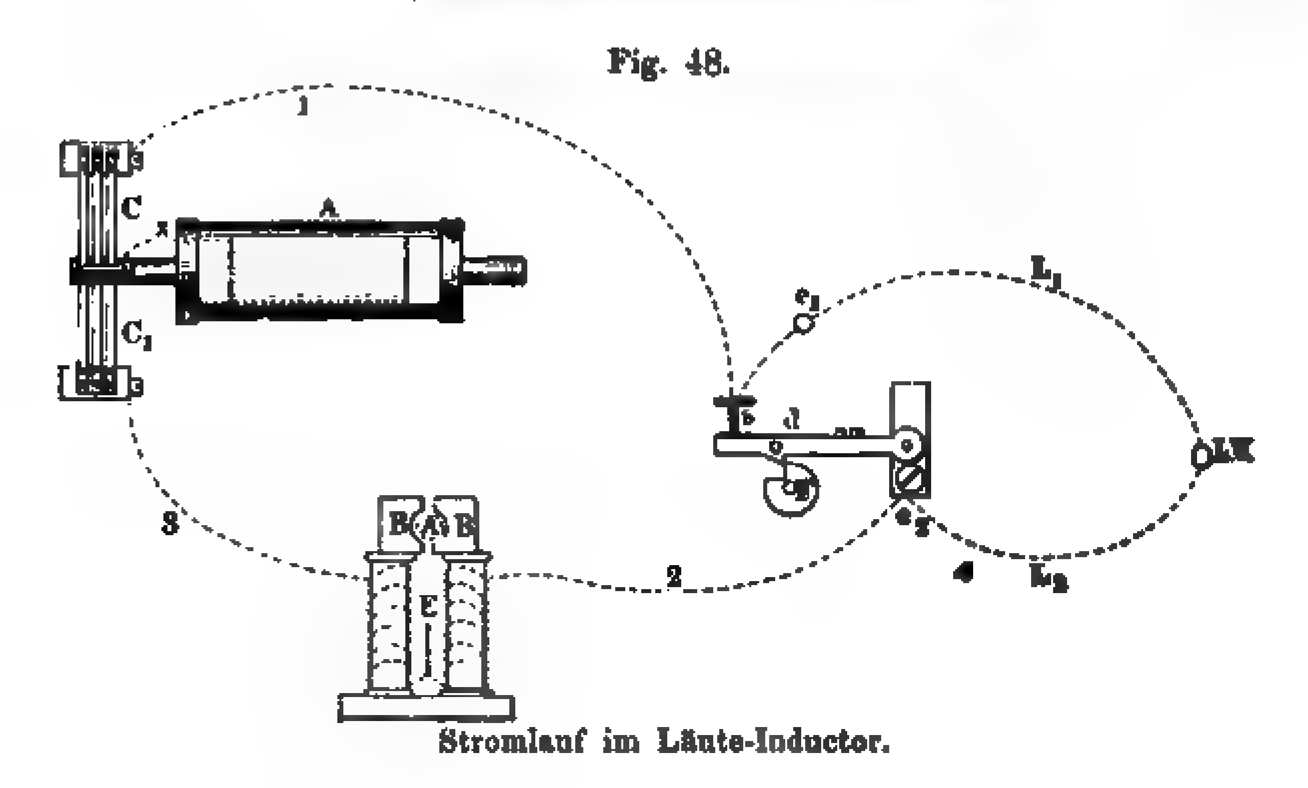
um die Verbindung der Enden x y seines Drahtgewindes mit dem Commutator C C_1 und weiter mit dem Elektromagnet E und der Unterbrechungs-Vorrichtung leichter erkennen zu können.

Fig. 47.



Siemens-Halske's dynamo-elektrischer Läute-Inductor und Minenzünder.

Fig. 48.



Stromlauf im Läute-Inductor.

Mittelst einer von der Hand bewegten Kurbel werden die beiden Räder R und r' in Umdrehung versetzt. R greift

in den Stahltrieb *t* des Inductors *A* ein und ertheilt diesem bei der Drehung der Kurbel eine grosse Rotationsgeschwindigkeit; *C* ist der in Fig. 48 noch besonders gezeichnete Commutator von der gewöhnlichen Construction mit Schleiffedern.

Das Rad *r'* dreht zugleich das darunter befindliche Rad *r* mit der darauf befestigten Unterbrechungsscheibe *F*. Letztere hat in ihrer Peripherie einen Einschnitt, in welchen die nach unten vorspringende Nase *o* eines federnden Unterbrechungshebels *D* jedesmal einfällt, wenn die Kurbel oder das Rad *r'* sich zweimal, und in Folge davon das Rad *r* und die Scheibe *F* sich einmal umgedreht hat.

So lange die Nase *o* nicht in diesem Einschnitte liegt, gleitet sie auf dem Umfange der Scheibe *F*; der Hebel *D* liegt dann hoch und seine Contactfeder berührt die Spitze der Contactschraube *s*, wie es die Fig. 48 zeigt; in diesem Falle findet der Strom über *s* und *D* kurzen Schluss und gelangt nicht in die längere Leitung $L L_2$. Wenn aber, was immer nach zweimaliger Umdrehung der Kurbel geschieht, *o* in den Einschnitt von *F* einfällt, so ist die Leitung zwischen *s* und *D* unterbrochen, der kurze Stromschluss ist aufgehoben und der Strom muss dann die längere Leitung, deren Enden an den Klemmen e_1 und e_2 befestigt sind, durchlaufen.

Die Wirkung des Apparates ist nun leicht zu verfolgen. Bei dem ersten Ingangsetzen der Maschine lässt man den Strom eines Elements auf einen Augenblick durch die Drahtwindungen des Elektromagnets gehen; bei dem darauf folgenden Ausschalten dieses Elements bleibt dann für alle folgende Zeit so viel Magnetismus in den Polen *B B* zurück, als zu dem jedesmaligen Arbeiten der Maschine erforderlich ist; eben so kann man den Polen durch einmaliges Annähern eines Stahlmagnets, ja sogar durch Vertheilung mittelst des Erdmagnetismus den erforderlichen Grad des Magnetismus ertheilen.

Bei der durch die Drehung der Kurbel erzeugten Rotation des Cylinders *A* entstehen dann in dem Drahtgewinde desselben inducirte Wechselströme, welche über *x y* zu dem Commutator $C\,C_1$ gelangen und, nachdem sie die gleiche Richtung erhalten haben, auf dem Wege *x*, *C*, *1*, *s*, *D*, e_2, *2*, *E*, *3*, C_1, *y* die Windungen des Elektromagnets durchlaufen.

Der im Elektromagnet anfangs vorhandene remanente Magnetismus erzeugt bei der Rotation des Ankers zuerst nur schwache Ströme; indem diese aber den Elektromagnet umkreisen, verstärken sie den Magnetismus der Pole. Dadurch werden auch die Inductionsströme des Ankers stärker; diese reagiren wieder auf die Magnetpole, und so geht die Wechselwirkung von Magnetismus und Inductionsströmen immer weiter, bis der Elektromagnet gesättigt ist und nicht mehr verstärkt werden kann.

Der permanente kurze Kreislauf des Stromes hält durch die Contactschraube so lange an, bis die Kurbel zwei volle Umdrehungen gemacht hat und dadurch der Strom und der durch ihn erzeugte Magnetismus des feststehenden Elektromagnets zur vollen Entwicklung gekommen sind. Ist dieses geschehen, so wird dieser Contact durch das Einfallen der Nase *o* in den Einschnitt der Unterbrechungsscheibe *F* plötzlich unterbrochen und es entsteht in der jetzt eingeschalteten Leitung in der Richtung *x*, *C*, *1*, *s*, Leit. I, Läutewerk, Leit. II, e_2, *2*, *E*, *3*, C_1, *y* ein kurzer, aber sehr starker Strom, welcher durch den Ankeranzug des Elektromagnets im Läutewerke dieses auslöst und in Gang bringt. Bei fortgesetzter Drehung des Cylinder-Inductors *A* wird nach jeder weiteren Doppeldrehung der Kurbel ein neuer Unterbrechungsfunken zwischen *s* und *D* gebildet; es lässt sich aber durch angemessene Abänderung oder Vermehrung der Einschnitte in *F* und der ineinander eingreifenden Räder leicht einrichten, dass bei jeder einmaligen Kurbelumdrehung je nach

Bedürfniss ein oder mehrere Ströme durch das Läutewerk gesandt werden. Der Apparat ist von einem hölzernen Schutzkasten umgeben, welcher so eingerichtet ist, dass beim Gebrauche keine Theile entfernt zu werden brauchen.

Derselbe Apparat wird auch zum Minensprengen verwendet; die Zünder (z. B. *Abel*'sche Zünder) müssen dann mit einem leitenden Satze oder mit einer leitenden Graphitschicht versehen sein. Mehrere Minen werden mit Sicherheit gleichzeitig entzündet, wenn die Zünder so eingeschaltet werden, dass sie gleichzeitig und nicht nach einander vom Strome durchlaufen werden.

Die anfängliche Bewegung der Kurbel erfolgt sehr leicht; aber sehr bald empfindet die Hand einen fortwährend zunehmenden Widerstand, der daher rührt, dass die Pole *B* des feststehenden Elektromagnets auf die inducirten Ströme des Inductors *A* und auf den durch diesen letztern magnetisirten eisernen Kern desselben eine mit der wachsenden Stärke der Pole ebenfalls wachsende Anziehung ausüben. Nur durch Ueberwindung dieses Widerstandes unter Aufwendung einer bestimmten Arbeitsgrösse wird die Wirkung und die Leistungsfähigkeit der Maschine erzielt; in demselben Maasse, wie die zur Umdrehung des Inductors erforderliche Arbeit aufgewendet wird, kommt an ihrer Stelle Magnetismus und galvanische Strömung zum Vorschein.

Ausser dieser kleinen, mit der Hand zu bewegenden Maschine hatten *Siemens & Halske* noch eine grössere, viercylindrige Maschine ähnlicher Construction auf der Pariser Ausstellung ausgestellt, während eine andere grosse, zweicylindrige Maschine, deren Bau bereits im Januar 1867 begonnen worden war, nicht rechtzeitig fertig wurde, um zur Ausstellung gelangen zu können.

24. Ladd's zweicylindrige dynamo-elektrische Maschine. Vier Wochen später als *Wheatstone*, und zwar erst am 14. März 1867, machte *William Ladd*, Inhaber einer sehr

renommirten mechanischen und optischen Werkstätte in London, unter dem Titel: „*On a Magneto-electric Machine*“ der *Royal Society* daselbst die folgende Mittheilung:

„Im Juni 1864 erhielt ich von *Wilde* eine kleine magnetelektrische Maschine, die aus sechs Magneten und einer *Siemens*'schen Armatur bestand. Ich suchte dieselbe zu verbessern und eine billige Maschine herzustellen, um die *Abel*'schen Zünder zu entzünden. Ich erreichte dieses durch Anwendung von kreisförmigen Ausschnitten in den Magneten und einer zwischen den Magnetpolen sich drehenden Armatur; mit Hülfe einer solchen Vorrichtung war es möglich, einem Elektromagnet eine bedeutende Kraft zu geben u. s. w. Mein Gehülfe theilte mir später mit, dass die Kraft der Magnete bedeutend verstärkt werde, wenn man der Armatur statt eines zwei Drahtgewinde gebe und den Strom des einen durch die diese Magnete umgebenden Drahtwindungen leite, wobei dann das andere Drahtgewinde einen starken Strom liefere, den man zu äusserer Arbeit verwenden könne. Man könnte aber auch zwei Armaturen anbringen, von denen die eine zur Vermehrung der magnetischen Kraft, die andere aber zum Zünden von Minen oder zu anderen Zwecken verwendet würde.

„Aus Mangel an Zeit konnte ich bis dahin diesen Gegenstand nicht weiter verfolgen; nachdem jedoch die interessanten Abhandlungen von *Siemens* und von *Wheatstone* vorigen Monat veröffentlicht worden sind, habe ich diese Idee auf folgende Weise zur Ausführung gebracht.

„Zwei Platten von weichem Eisen, 7½ Zoll (engl.) lang, 2½ Zoll breit und ½ Zoll dick, wurden um ihren mittlern Theil einzeln mit ungefähr 30 Yards (à 0,914 m) Kupferdraht von Nr. 10 umwickelt und an jedem Ende mit Schuhen von weichem Eisen derart versehen, dass, wenn sie übereinander gestellt wurden, zwischen diesen Schuhen ein Zwischenraum blieb, in welchem ein *Siemens*'scher Inductor

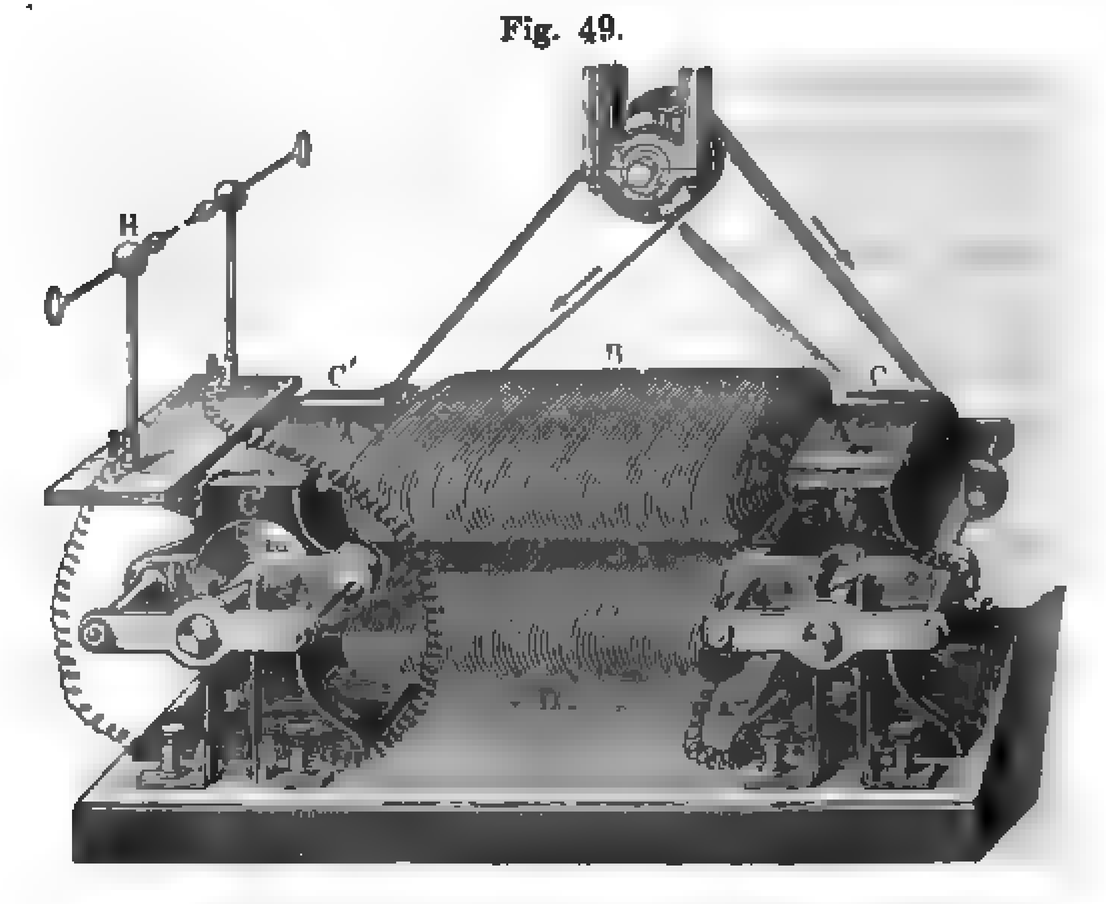
rotiren konnte. Jede dieser Armaturen wurde mit ungefähr 10 Yards isolirten Kupferdrahtes Nr. 14 umwickelt. Die Enden des einen Inductordrahtes blieben in beständiger Verbindung mit den Drahtwindungen der beiden Elektromagnete, während der Strom der anderen Armatur vollständig frei war und zu irgend welchen Zwecken verwendet werden konnte. Obgleich die Maschine, in kleinen Dimensionen roh ausgeführt, bloss dazu dienen soll, das Princip zu erläutern, so kann doch damit ein 3 Zoll langer Platindraht (0,01) glühend gemacht werden."

Ladd brachte seine Ausstellungsmaschine erst gegen die Mitte Mai 1867 nach Paris, und er hat unbestreitbar das Verdienst, die erste zweicylindrige dynamo-elektrische Maschine fertig gestellt zu haben; wie sein oben angeführter Bericht andeutet, erhebt er auch keine Ansprüche darauf, zu der Ausbildung des diesen Maschinen zu Grunde liegenden Princips etwas beigetragen zu haben.

In Fig. 49 ist die *Ladd*'sche Ausstellungsmaschine abgebildet. Zwei flache Kerne *B B* von weichem Eisen von etwa 60 cm Länge, 50 cm Breite und 10 cm Dicke, welche ungefähr 8 cm von einander abstehen, sind je einzeln mit einem gegen 27 m langen, dicken und gut isolirten Kupferdrahte umwickelt. Die vier verstärkten Enden *A A* dieser Eisenplatten ragen zu beiden Seiten aus dem Drahtgewinde hervor und bilden die vier Pole zweier ganz von einander unabhängiger Elektromagnete, deren Polarität in Folge der Richtung der Drahtwindungen sich derart gestaltet, dass je zwei entgegengesetzte Pole sich gegenüber stehen. Von den vier Enden der Umwindungsdrähte sind zwei mit einander verbunden, so dass beide Gewinde einen einzigen 54 m langen Draht bilden. Zwischen diesen vier Polflächen werden zwei *Siemens*'sche Inductor-Cylinder *C C*, *C' C'* durch eine Dampfmaschine in sehr rasche Rotation versetzt, wobei wieder die schon mehrfach erwähnte Einrichtung getroffen ist, dass die

Inductionsströme beider Cylinder in eine und dieselbe Richtung commutirt und von den Commutatoren *m n* aus vermittelst zweier Paare von Schleiffedern *F F'* zu zwei Paar

Fig. 49.



Ladd's zweicylindrige dynamo-elektrische Maschine.

auf dem Grundbrette *D* befestigten Klemmen herabgeführt werden, von denen das eine Paar dem rechts liegenden, das andere Paar dem links liegenden Inductor entspricht.

Die beiden rechts stehenden Klemmen sind einerseits mit den zwei freien Enden des dicken, die Elektromagnete bildenden Umwindungsdrahtes, und andererseits mit den Enden des dünnen, den rechts liegenden Inductor-Cylinder *C C* umgebenden Drahtgewindes vermittelst des Commutators *n* verbunden, wonach die beiden Drahtwindungen der plattenförmigen Elektromagnete und des zwischen den rechts liegenden Polen *A* rotirenden Inductors *C C* nur eine einzige zusammenhängende Leitung darstellen.

Die Drahtenden des zwischen den links liegenden Polen selbstständig für sich rotirenden Inductors *C' C'* gehen

dagegen über den Commutator *m* dieses Inductors zu den links stehenden Klemmen, von wo aus die in diesem Cylinder entstehenden Inductionsströme zur beliebenden Verwendung, z. B. zur Erzeugung des elektrischen Lichtes *H*, nach aussen abgeleitet werden können.

Auch hier genügt es, um die Maschine werkfähig zu machen, vor ihrem ersten Gebrauche den Strom eines galvanischen Elements durch die Windungen der Elektromagnete zu leiten, um den vier Polen auf einen Augenblick ihre magnetische Polarität zu geben.

Sobald nun der rechts liegende Cylinder in eine schnelle Rotation versetzt wird, entstehen, wie bereits oben näher ausgeführt worden ist, zuerst ganz schwache Inductionsströme in seinen Drahtgewinden. Indem jedoch diese Ströme über die rechts befindlichen Klemmen und Schleiffedern *F* zu dem Commutator *n* und sodann in gleicher Richtung durch die Windungen der Elektromagnete *B* geleitet werden, verstärken sie den Magnetismus der vier Pole mit jedem neuen Impulse immer mehr, während andererseits eben diese Verstärkung des Magnetismus die fortwährende Verstärkung der Inductionsströme zur Folge hat. Auf diese Weise wächst die Kraft der Pole sehr rasch in demselben Maasse, als die Geschwindigkeit der Rotation dieses rechts liegenden Cylinders *C* zunimmt.

Gleichzeitig wird aber von derselben Triebkraft auch der links zwischen den beiden anderen Polen der Elektromagnete liegende Cylinder-Inductor *C' C'*, dessen Draht über den Commutator *m* und die Federn *F'* in den links stehenden Klemmen endigt, in einer schnellen Umdrehung erhalten, und es entstehen in ihm unter der Einwirkung der nunmehr sehr stark magnetisirten Pole Inductionsströme von ausserordentlicher Stärke, die von diesen Klemmen aus zu beliebigen Zwecken, z. B. zur Erzeugung des elektrischen Kohlenlichtes in *H*, verwendet werden können.

Bei der Maschine, welche sich in der Pariser Ausstellung befand, hatte der links liegende Arbeits-Cylinder einen fast doppelt so grossen Durchmesser als der andere; von den Klemmen, in welche die Enden seines Drahtes ausliefen, gingen Verbindungsdrähte zu einer *Duboscq*'schen Lampe und erzeugten in dem Kohlenlicht-Regulator bei einem angeblichen Kraftaufwande von 1 Pferdekraft ein Licht gleich dem einer *Bunsen*'schen Batterie von 40 Elementen mittlerer Grösse. Derselbe Strom brachte einen Platindraht von mehr als 1 m Länge bei einer Dicke von $^1/_2$ mm zum Weissglühen. Das Maximum der Umdrehungszahl der Cylinder betrug 1800 Touren in 1 Minute.

In den später gebauten dynamo-elektrischen Maschinen kehrte *Ladd* sowohl als auch *Ruhmkorff* in Paris, der sich von *Ladd* das Recht erworben hatte, die Maschinen nach der englischen Einrichtung zu bauen, zu dem eincylindrigen System zurück, und zwar nicht bloss bei den kleineren, zu Demonstrations-Zwecken für physicalische Cabinette und chemische Laboratorien construirten Apparaten, sondern auch bei den für die Erzeugung des elektrischen Lichtes gebauten Grossmaschinen.

Die plattenförmig gestalteten Elektromagnet-Schenkel stehen in diesen Maschinen wie bei der von *Wilde* (Fig. 40) vertical und sind auch oben durch eine Platte von weichem Eisen mit einander verbunden, während die unteren Enden mit Polschuhen besetzt und für die Aufnahme des rotirenden Cylinder-Inductors kreissegmentförmig ausgeschnitten sind. Auf diese Weise bilden die beiden Elektromagnet-Schenkel nur einen einzigen Elektromagnet mit zwei langgestreckten Polen, zwischen denen auf die bekannte Art der Inductor rotiren kann. Letzterer enthält zwei völlig von einander getrennte, hinter einander liegende Drahtsysteme (Armaturen), deren magnetische Längenachsen einen rechten Winkel mit einander bilden. Die eine Armatur ist kürzer als die

andere und ihre Drahtenden stehen mit dem Umwindungsdrahte des Elektromagnets in Verbindung; die Enden der längeren Drahtspule sind frei und gehen über einen Commutator in seitliche Klemmen, von wo aus die Leitung nach aussen abgeht.

Wird der Cylinder in Umdrehung versetzt, so geht der in der kürzeren Inductorrolle erzeugte Inductionsstrom nach dem dynamo-elektrischen Princip über einen zweiten Commutator zu dem Elektromagnet, der in Folge hiervon und seiner Reaction auf den Inductor bis zum Maximum seiner Tragfähigkeit immer kräftiger magnetisirt wird; gleichzeitig entstehen in der längeren Drahtspule Inductionsströme, welche durch den ersten Commutator gleiche Richtung erhalten und in der eingeschalteten Leitung nutzbar verwendet werden können.

Die Maschinen der letzteren Art sind sowohl in kleineren Dimensionen für die Zwecke der Laboratorien und der physicalischen Cabinette mit Handbetrieb in einer Stärke von etwa 4—5 *Bunsen*'schen Elementen, als auch für den Grossbetrieb zur Erzeugung des elektrischen Lichtes unter Aufwand von mehreren Pferdekräften mehrfach gebaut worden.

Die mit den stärkeren dynamo-elektrischen Maschinen angestellten Versuche im Grossen ergaben leider, dass in Folge des schnellen Polwechsels, mit welchem ohne Zweifel eine bedeutende innere molekulare Arbeit im Eisen des rotirenden Cylinders verbunden ist, dieser sich stark erwärmt; dazu kommt noch, dass durch den Aufwand der Arbeit, der zu der Ueberwindung des sehr bedeutenden Widerstandes erforderlich ist, welchen die Anziehung der Pole auf die Eisentheile dieses Cylinders erzeugt, ebenfalls Wärme erzeugt wird. Es tritt dadurch bei längerer Thätigkeit dieser Maschinen eine so erhebliche Erhitzung der Drähte in den Armaturen ein, dass ihre isolirende Umhüllung ver-

kohlt und dadurch die Maschine beschädigt wird. Durch diesen Umstand wird der nützlichen Verwendung der mit raschem Polwechsel behafteten dynamo-elektrischen Grossmaschinen eine natürliche Grenze gesetzt, welche ohne Gefahr für ihre Erhaltung nicht überschritten werden darf. Die zur Umdrehung der Inductoren aufgewendete Arbeit wird in diesen Maschinen nur zum Theil in Magnetismus und elektrischen Strom umgesetzt, während der übrige Theil hier in der Form von Wärme auftritt und nicht bloss nutzlos verloren geht, sondern auch der Maschine schädlich wird. Diese Erscheinungen erklären einerseits den übermässigen Kraftaufwand, den die dynamo-elektrischen Maschinen zur Erzeugung elektrischer Ströme verbrauchen, und andererseits fordern sie dazu auf, die Fehlerquelle zu vermeiden und andere Constructionen aufzusuchen. *Ladd* hat es versucht, diesen Uebelstand einigermaassen dadurch zu beseitigen, dass er ununterbrochen durch das Innere der rotirenden Cylinder einen Strom kalten Wassers hindurchleitet.

25. **Siemens-Halske's zweicylindrige dynamo-elektrische Maschine** bestand aus drei neben einander liegenden wagerecht gelagerten grossen Elektromagneten mit sechs Doppelschenkeln und zwölf Polen, von denen je drei einander zugekehrte entgegengesetzten Magnetismus erhielten. An jedem Ende der Maschine rotirte zwischen diesen Polflächen eine kräftige Armatur. Eine besonders construirte, aus Klemmen und Commutatoren bestehende Einrichtung gestattete die verschiedenartigsten Combinationen der Elektromagnete und der beiden Armaturen. Die vollständige Maschine wog gegen 1000 kg; das Gesammtgewicht des isolirten Kupferdrahtes auf den Armaturen und dem Elektromagnetschenkel betrug 208 kg; jede Armatur wog mit Draht (2½ mm) 30 kg, jeder Magnetschenkel mit Draht (3 mm) 60 kg. Jede Armatur hatte circa 200 Drahtwindungen mit einem Widerstande von 0,165 *Siemens*'schen Einheiten, jeder Magnetschenkel circa 400

Windungen mit 0,300 *S. E.* Widerstand; der Gesammtwiderstand des Drahtes der ganzen Maschine betrug circa 4 *S. E.*

Bei der gewöhnlichen Schaltung der Drähte in der Maschine, bei welcher eine Armatur die Elektromagnete magnetisirte, während die andere den freien Arbeitsstrom für die Leitung lieferte, waren die dynamischen wie die Licht-Effecte unter Anwendung einer Betriebskraft von vier bis fünf Pferdekräften ungemein stark und der Grösse der Maschine vollkommen angemessen. Die Wasserzersetzung ergab 10 ccm Knallgas in einer Secunde. Das elektrische Kohlenlicht war äusserst intensiv und selbst bei hellem Tage noch blendend.

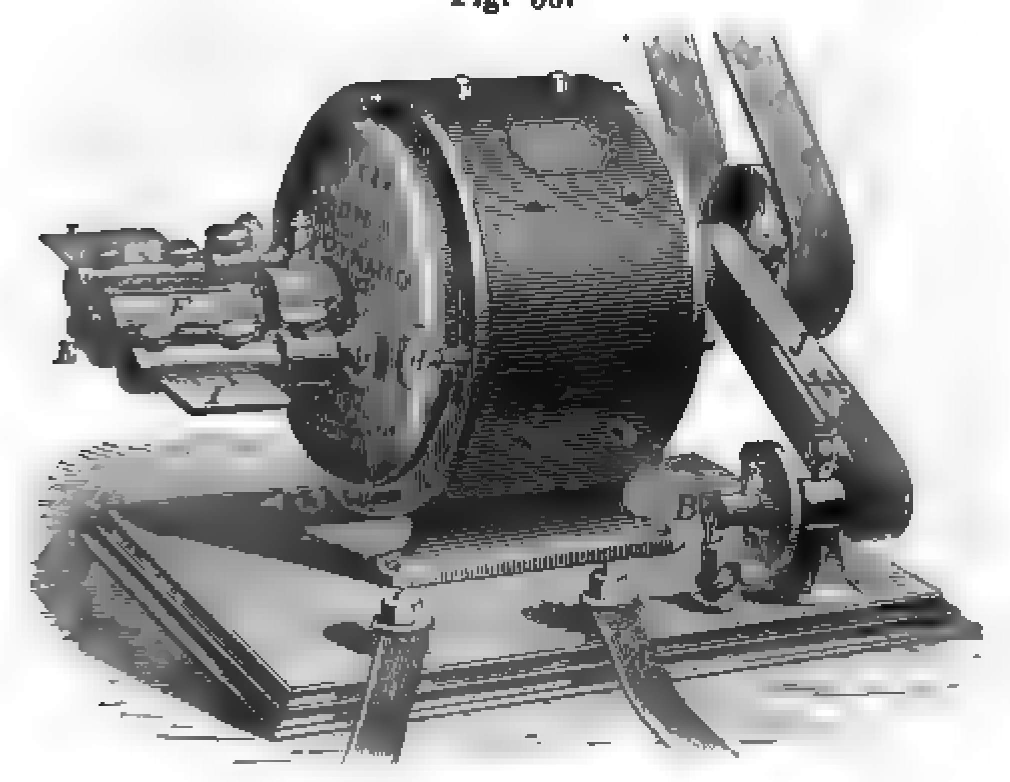
Von der Construction der in den vorstehenden Paragraphen beschriebenen Maschinen weicht diejenige der seitdem construirten dynamo-elektrischen Maschinen in den meisten Fällen insofern ab, als dieselben ohne Anwendung eines Commutators während ihrer Thätigkeit unausgesetzt elektrische Ströme von einer und derselben Richtung liefern; nur bei einigen wenigen Maschinen finden wir noch das Princip durchgeführt, dass ursprünglich Wechselströme erzeugt und diese erst durch einen Commutator in Ströme von unveränderlicher Richtung verwandelt werden, bevor sie zu den Elektromagneten gelangen. Daher ist es zweckmässig, diese Maschinen schon in dieser Abtheilung zu betrachten, wobei sich ergibt, dass dieselben im Grunde zu der Classe der magnet-elektrischen Maschinen gehören, obschon sie keine Stahlmagnete haben, zu dynamo-elektrischen Maschinen jedoch dadurch werden, dass die Stahlmagnete durch Elektromagnete ersetzt sind.

26. Die Weston'sche dynamo-elektrische Maschine zu galvanoplastischen Zwecken ist durch die Figuren 50 und 51 dargestellt; die Fig. 50 zeigt die äussere, Fig. 51 in schematischer Weise die innere Anordnung dieser Maschine. An der eisernen Trommel sind mittelst Schrauben sechs aus Guss-

eisen verfertigte Elektromagnete B befestigt. Die elliptisch angeordneten Magnete besitzen einen hohlen Eisenkern, dessen Hohlraum zum Zweck der Kühlung mit einer Wasserleitung verbunden ist. Es sind ferner die Langseiten der Magnete mit Stahlplatten bedeckt, welche durch den Strom dauernd magnetisirt werden und nicht leicht durch einen etwa



Fig. 50.

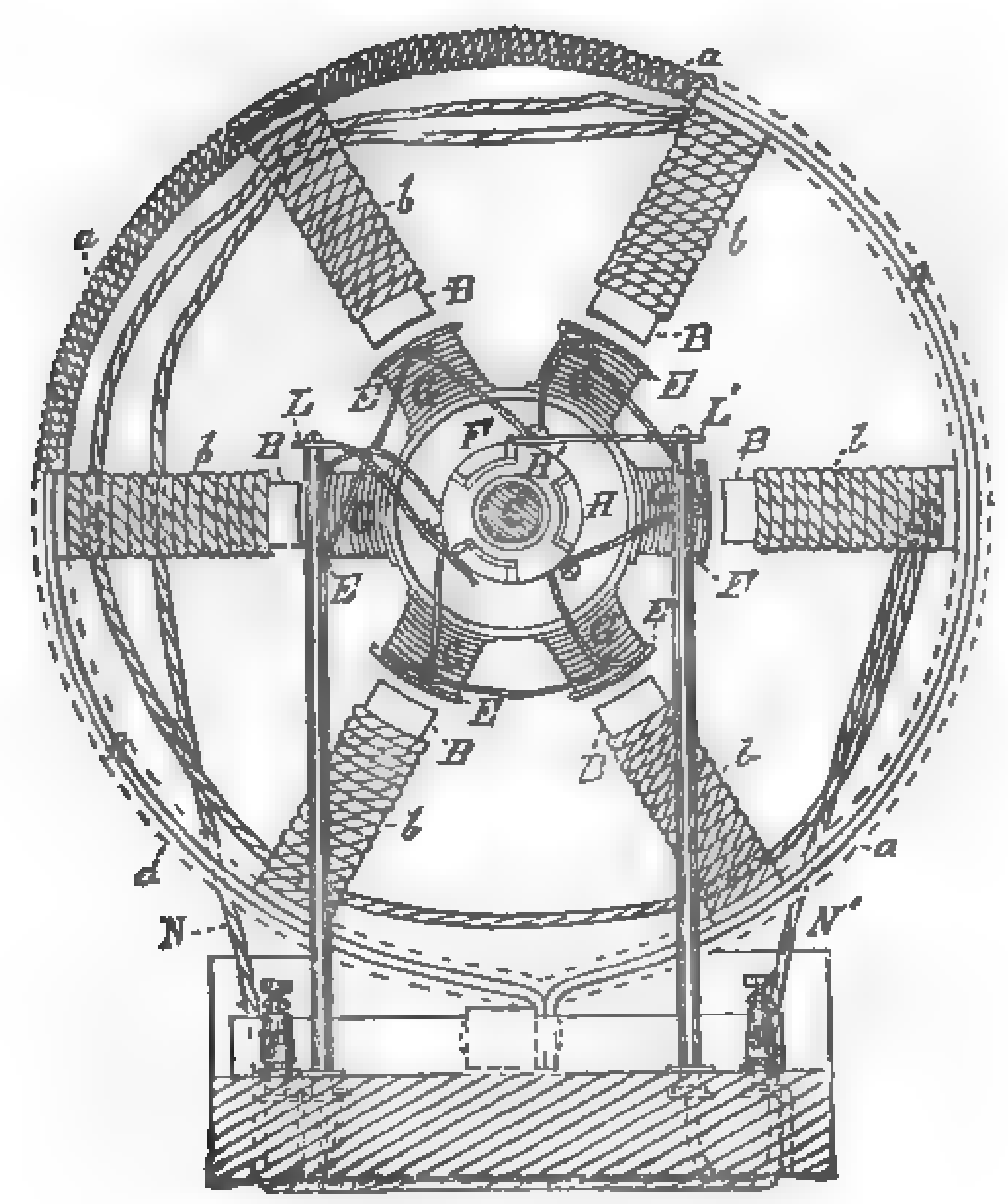


Weston's Maschine.

die Spulen durchlaufenden Polarisationsstrom ummagnetisirt werden können. Die Drähte der Magnete stehen mit einander in Verbindung und bilden eine einzige, nur an zwei Stellen unterbrochene Leitung b, welche so geführt ist, dass die nach innen hervorragenden Stirnflächen der Elektromagnete abwechselnde Pole bilden, sobald ein Strom die Leitung durchfliesst. In gleichem Sinne sind auch die sechs auf der Achse der Maschine befestigten kleineren Elektromagnete G mit Draht umwunden, jedoch so, dass nur zwei aufeinanderfolgende verbunden sind. Die freie Stirnfläche E eines solchen Elektromagnets wird in Folge der erwähnten Anordnung der Elektromagnete B bei jeder Umdrehung der

Achse sechsmal ihre Polarität ändern. Die Drahtbündel zweier mit einander verbundener Elektromagnete G werden daher gleichzeitig von verschieden gerichteten Strömen durchflossen, die sich aber bei der entgegengesetzten Umwicklung der Eisenkerne zu einem gleichgerichteten Strome

Fig. 51.



Weston's Maschine.

vereinigen. Wir können daher je zwei mit einander verbundene Elektromagnete als einen einzigen Hufeisenmagnet betrachten und sagen, dass die drei Drähte der so gebildeten Hufeisenmagnete gleichzeitig von Strömen gleicher Richtung durchflossen sind. Diese Richtung ändert sich natürlich bei einer Umdrehung der Achse sechsmal, so dass in

der Armatur durch die Elektromagnete *B* Wechselströme inducirt werden. Zur Gleichrichtung derselben dient ein Commutator (Fig. 51), welcher fest mit der Achse verbunden ist. Der eine Theil *H'* desselben gleicht einem breiten Stirnrade, welches von der Achse isolirt ist; die Lücken, welche die drei Zähne bilden, sind mit passend gewölbten kupfernen Plättchen *H* ausgelegt, die ihrerseits in leitender Verbindung stehen. Dieser zweite Theil ist natürlich von dem ersten gut isolirt. Zu dem einen Theile führen die drei Enden der Drahtbündel *G*, welche denselben Pol repräsentiren, während die drei übrigen zu dem zweiten Theile gehen. Werden demnach die beiden Theile leitend verbunden, so addiren sich die in den Drahtbündeln *G* inducirten Ströme zu einem Gesammtstrom. Dieses geschieht durch zwei Bürsten *J*, welche an diametral gegenüberliegenden Puncten des Commutators federn, und da diese bei der gleichzeitigen Bewegung der Armatur und des Commutators stets in abwechselnder Stellung zu den Theilen des letzteren stehen, so werden die Wechselströme der Armatur in gleichgerichtete Ströme verwandelt. Das Princip der dynamoelektrischen Erregung ist dadurch befolgt, dass die eine Bürste leitend verbunden ist mit dem einen Ende der Leitung *b*, während das andere Ende der Leitung *b* mit der äusseren Leitung und diese wiederum mit der zweiten Bürste verbunden ist. Der in der Armatur erregte Strom durchfliesst also die Leitung *b*, magnetisirt dadurch die Elektromagnete *B*, fliesst alsdann durch die äussere Leitung (etwa das Elektroplatir-Gefäss) zur zweiten Bürste und durch diese in die Armatur zurück.

Bei der Anfertigung der Maschine ist besonders zu erstreben, dass die Elektromagnete *E* und *B* möglichst nahe an einander vorbeigehen, sich aber doch nicht berühren. Damit die Elektromagnete *E* sehr rasch ihre Polarität ändern, sind dieselben aus dem feinsten und weichsten Eisen verfertigt.

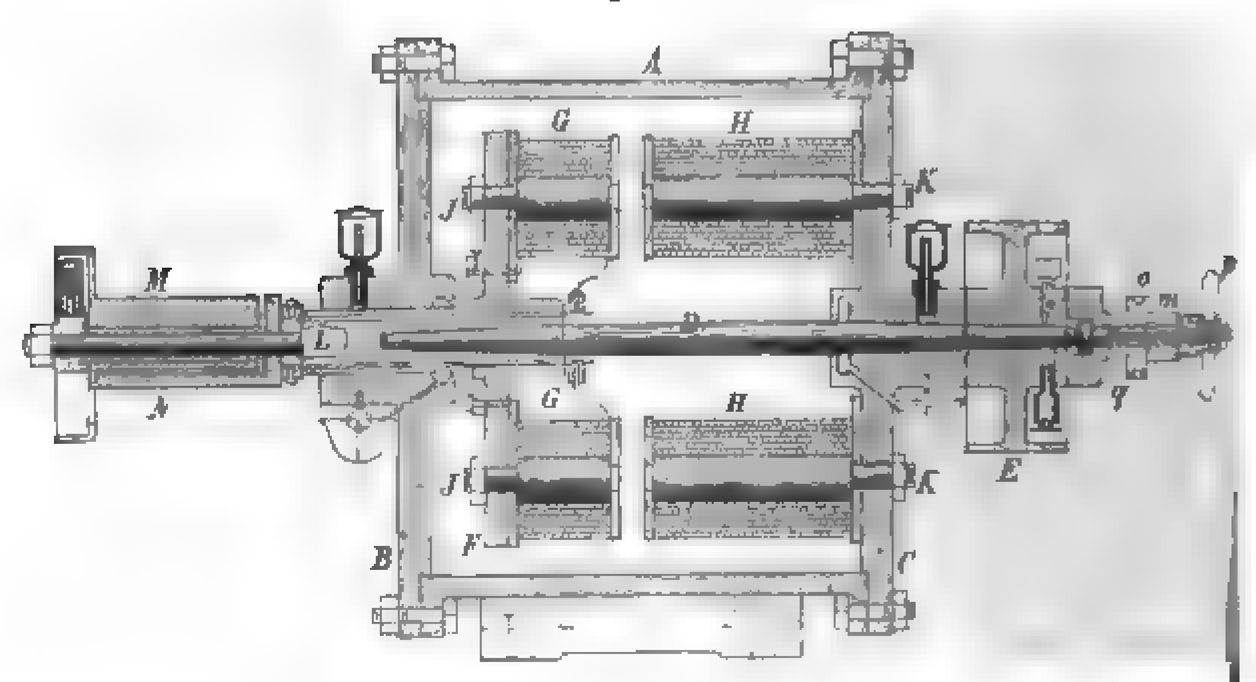
Die Maschine wird hauptsächlich zu galvanoplastischen Zwecken gebaut, eignet sich aber ohne weiteres nicht für solche, weil ein von der Polarisation der Elektroden im Bad herrührender Strom, sowie die Geschwindigkeit der Maschine unter eine gewisse Grösse herabsinkt, die Polarität der Elektromagnete und dadurch die Richtung des von der Maschine gelieferten Stromes umkehren könnte, so dass der bereits gelieferte Niederschlag wieder aufgelöst würde. Um dieses zu verhüten, ersann *Weston* sinnreiche Nebenvorrichtungen, die indessen erst in Abth. 14 besprochen werden sollen.

Ein Vorzug der Maschine besteht schon darin, dass die abnutzbaren Theile auswechselbar sind und in kurzer Zeit ersetzt werden können. Die Maschine ist nur halb so gross und schwer als andere zu gleichem Zweck dienende Apparate und soll dennoch, selbst bei geringer Tourenzahl (450 bis 800), eine sehr kräftige Wirkung ausüben. Kein Wunder also, wenn sie, in America allenthalben geschätzt, eine weite Verbreitung gefunden hat. Besondern Beifall verdient auch

27. Die dynamo-elektrische Maschine von H. G. Möhring in Frankfurt am Main **und Gustav Baur** in Stuttgart, welche in jeder Beziehung ihr Vorbild, die *Weston*'sche Maschine zu überflügeln scheint. (Fig. 52.) Sie zeichnet sich zunächst durch eine vortheilhafte gedrängte Anordnung der einzelnen Theile aus. Die sechs feststehenden Elektromagnete H sind an der Innenwand des Deckels C eines cylindrischen Gehäuses A mittelst Schrauben K befestigt. Ihnen gegenüber stehen, mit der durch die Riemenscheibe E getriebenen Welle D drehbar, sechs Elektromagnete G, die durch Schrauben J an der auf der Welle D festsitzenden Gusseisenscheibe F befestigt sind. Die Welle D ist in den Deckeln B und C gelagert und trägt an ihrem vorderen Ende den messingenen Theil L, an dessen vorspringendem Theile der aus zwei gegeneinander isolirtenTheilen M und N bestehende Commutator angebracht ist.

Während nun bei der *Weston*'schen Maschine die festen Elektromagnete eine einzige Leitung bilden, sind dieselben bei dieser Maschine in Parallelschaltung in den Stromkreis der Spulen *G* aufgenommen. Dazu führt der Strom von der einen Bürste, welche gegen den Commutator federt, zu einem isolirten Bolzen, von dem 6 einzelne Drähte zu den

Fig. 52.



Dynamo-elektrische Maschine von H. G. Möhring und G. Baur.

Elektromagneten *H* führen und um diese so gewickelt sind, dass die Stirnflächen abwechselnde Pole haben. Die Enden der sechs Drähte können alsdann entweder in einem zweiten gemeinsamen isolirten Bolzen enden, an den sich in diesem Falle die äussere Leitung anschliesst — oder aber zunächst einzeln nach galvanoplastischen Bädern geführt und dann erst an dem isolirten Bolzen vereinigt werden, welcher nunmehr mit der zweiten Bürste zu verbinden ist. Dadurch bietet sich eine wichtige Vorrichtung zur Erzeugung von sechs Nebenströmen ohne Schwächung des Hauptstromes.

Einen weiteren Vorzug müssen wir in der Regulirungs-Vorrichtung zum Variiren der Stromstärke während des Ganges der Maschine erblicken. Nach Lösung der Stell-

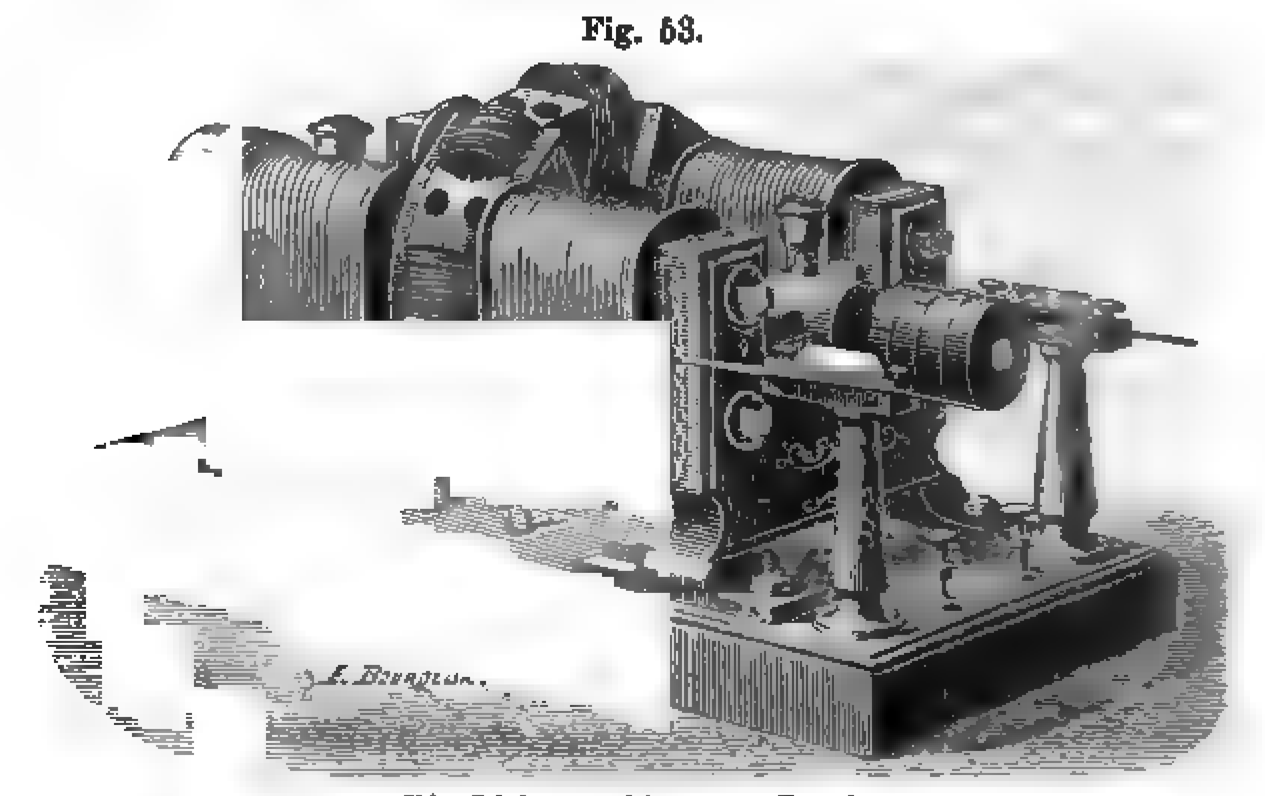
mutter *o* lässt sich nämlich mittelst des Griffrädchens *p* der Schraubenbolzen *q*, dem das Querstück *m* als Mutter dient, und hierdurch die Achse *D* hin und her verschieben, wodurch die Magnete *G* den Magneten *H* genähert oder von ihnen entfernt werden. Auch kann die Maschine mit einer Vorrichtung versehen werden, ein etwa in den Bädern entstehendes Rückströmen der Elektricität zu vermeiden. Mittelst eines Commutators gleichgerichtete Wechselströme gibt schliesslich

28. Die Lichtmaschine von Brush, welche von manchen Physikern etwa bei den mit der *Gramme*'schen Maschine verwandten Apparaten besprochen zu werden pflegt. Wohl erinnert der Inductor der *Brush*'schen Maschine an die Construction des *Gramme*'schen Ringes, weicht indessen so sehr von dem letzteren in wesentlichen Puncten ab, dass derselbe in Verbindung mit einem sinnreich erdachten Commutator den Strom auf eine Weise erzeugt, welche die Besprechung an dieser Stelle erfordert. Die Maschine hat zwei Elektromagnete in Hufeisenform, deren gleichnamige Pole in passender Entfernung von einander sich gegenüberstehen. (Fig. 53.) In dem von diesen Polen gebildeten magnetischen Felde rotirt ein Eisenring, der aus 16 Theilen besteht; ein Theil um den anderen ist mit Kupferdraht umwickelt, während die Zwischenräume durch eiserne Keile ausgefüllt sind. Diese bieten grosse Flächen zur Ausstrahlung der Wärme, sind dazu durchbrochen, um einer vollständigeren Abkühlung wegen stets frische Luft durch die Oeffnungen circuliren zu lassen. Die durch die Rotation des Ringes bedingte Erwärmung der Armatur ist daher unbeträchtlich und übersteigt nach $4^3/_4$ Stunden Gang nicht mehr als etwa 49°; eine unangenehme Folge ist aber, dass die Maschine während ihrer Thätigkeit ein starkes Geräusch gibt, was noch durch den beständigen Wechsel des Magnetisirens und des Entmagnetisirens der rotirenden Drahtrollen vermehrt wird.

Jede der acht Drahtrollen ist mit der ihr diametral

gegenüberliegenden Rolle durch ein Drahtende verbunden, die beiden anderen Drahtenden gehen dagegen zu zwei diametrisch gegenüberliegenden Segmenten eines Commuta-

Fig. 53.



Die Lichtmaschine von Brush.

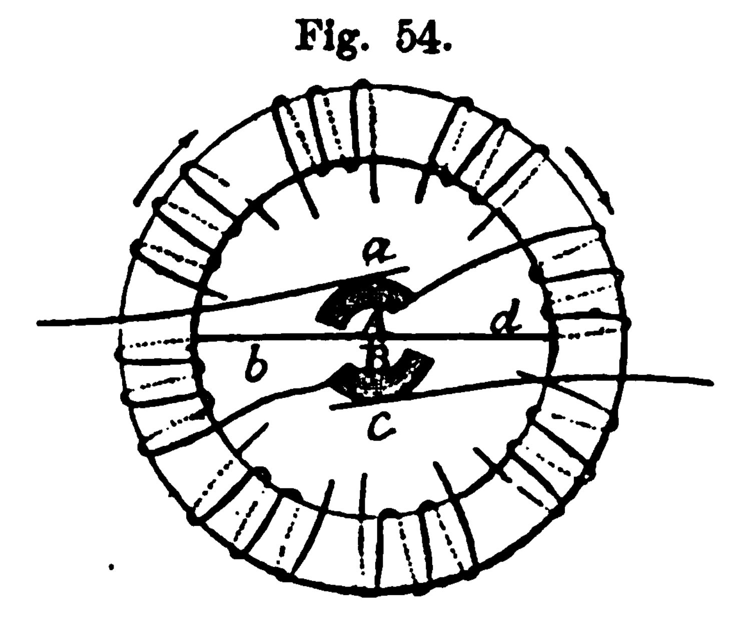
tors, welche unter sich und von anderen Segmenten wohl isolirt sind. So ist (Fig. 54) die Drahtrolle *d* mit der gegenüberliegenden Rolle *b* verbunden, die freien Drahtenden gehen aber zu den kupfernen Commutatorstücken *A* und *B*.

Hiernach gibt es vier von einander unabhängige Stromkreise; in jedem derselben entstehen Ströme, welche in der neutralen Lage, d. h. bei dem Durchgange durch die beiden magnetischen Felder, ihre Richtung wechseln, indessen durch die erwähnten Segmente gleichgerichtet werden.

Dementsprechend besteht der Commutator (Fig. 55) aus vier getrennten Metallringen, von denen ein jeder aus zwei beinahe halbrunden Segmenten gebildet ist, deren Enden auf beiden Seiten durch einen beträchtlichen Raum getrennt sind, welcher jedoch in geeigneter Weise mit einer Isolationsmasse ausgefüllt ist. Die beiden Füllungen eines Ringes

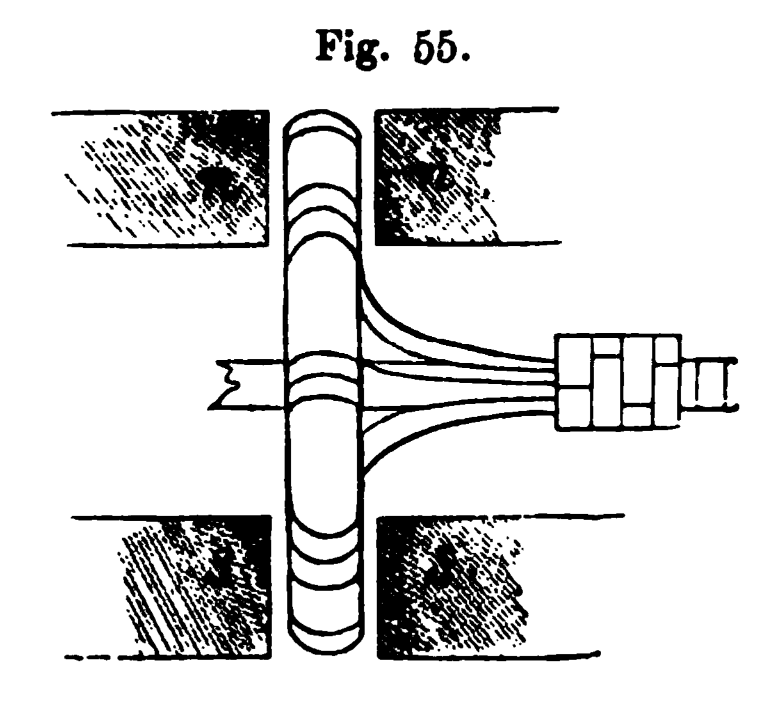
liegen in der Ebene, welche durch die Achse des Ringes und den zugehörigen Stromkreis bestimmt ist, so dass bei dem Durchgange eines Stromkreises durch die neutrale Lage die Bürsten gegen die Füllungen federn. Demnach lässt der Commutator beständig drei Paar Spulen wirksam sein; nur das in neutraler Lage befindliche vierte Paar ist aus-

Fig. 54.



Ring der Maschine von Brush.

Fig. 55.



Commutator der Maschine von Brush.

geschlossen; dabei verhindern die bezüglichen Füllungen, dass der durch die drei Spulenpaare gebildete Strom nicht durch die unwirksame vierte Spule gehen kann, wodurch derselbe kurz geschlossen würde. Der Commutator liegt ausserhalb des Lagers der Maschine auf einem nicht leitenden Stücke der Rotationsachse, so dass derselbe leicht ausgewechselt werden kann.

Die Federn, welche auf dem Commutator schleifen, nehmen die gleichgerichteten Ströme auf und leiten diese unter Anwendung des dynamo-elektrischen Princips in die Elektromagnete und die äussere Leitung.

Brush hätte auch, wie *Fontaine* richtig bemerkt, nur einen Theil des Stromes gleichrichten können, um damit die Elektromagnete zu erregen, die Wechselströme aber direct zur Darstellung des elektrischen Lichtes verwenden können. „*Brush* hat aber sehr wohl den Vorzug der continuirlichen Ströme für die Licht-Erzeugung begriffen und seine Combinationen auf die Basis direct angestellter Experimente gebaut.“

Brush hat an seiner Maschine, ohne das Wesentliche der Construction zu ändern, noch verschiedene andere Einrichtungen getroffen und es damit ermöglicht, bei gleicher Geschwindigkeit der Rotation schwächere oder stärkere Ströme zu erzeugen, oder auch zwei oder vier ganz von einander unabhängige Stromsysteme zu gewinnen.

Die Maschinen von *Brush* sind einfach im Bau und billig in der Unterhaltung; alle Theile sind leicht zugänglich, daher Reparaturen leicht zu bewerkstelligen. Sie haben in Folge dessen eine weite Verbreitung in America und neuerdings auch in England gefunden; gerade in letzter Zeit machen sie viel von sich reden, da sie Ströme von solch hoher Spannung erzeugen, dass 20, ja 40 Lampen in denselben Stromkreis geschaltet werden können. Folgende Tabelle gibt eine Uebersicht der von *Brush* an einer Maschine zu 16 Lampen angestellten Messungen:

Widerstand der Maschine in Ohms	10,55,
„ „ äusseren Leitung in Ohms	83,51,
Elektromotorische Kraft in Volts	839,02,
Intensität in Webers	10,04,
Kraftbedarf in Pferdekräften	15,48.

IV. Abtheilung.

Die magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen zur Erzeugung continuirlicher Ströme,

welche in zwei Hälften in parallel geschalteten Zweigen entstehen.

29. Pacinotti's Ringmaschine. Wir betreten nunmehr das Gebiet der magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen, welche ohne Anwendung eines Commutators während ihrer Thätigkeit unausgesetzt elektrische Ströme von einer und derselben Richtung liefern.

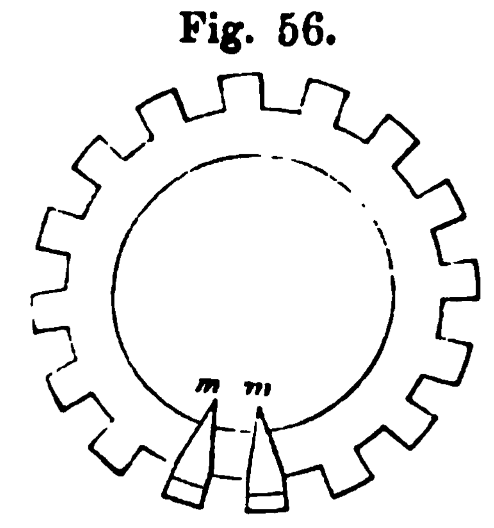
Schon im Jahre 1860 construirte *Dr. Antonio Pacinotti* in Florenz für Rechnung des technologischen Cabinets der Physik der Universität zu Pisa ein kleines Modell einer neuen elektro-magnetischen Maschine, deren Einzelheiten er erst in dem neunzehnten Bande (S. 378) des Journals für Physik und Chemie *„Il Nuovo Cimento“* ausführlich beschrieb und abbildete.[1]) Als neu in dieser Maschine wird von ihm die besondere Form des beweglichen Elektromagnets bezeichnet, welche die eines Eisenringes sei, der die Eigenschaft habe,

[1]) Es ist auffallend, dass dieser Band XIX auf dem Titelblatte die Jahreszahl 1863 trägt, während doch die meisten der in demselben enthaltenen Abhandlungen vom Jahre 1864 sind und eine sogar das Datum *Milano 7 Gennaio 1865* trägt. Die Abbildungen, welche wir hier geben, sind ganz getreue Copien der von *Pacinotti* mitgetheilten sehr unvollkommenen Figuren mit allen ihren Ungenauigkeiten und Fehlern der Zeichnung.

dass die Magnetpole nicht, wie es in den bisher üblichen Armaturen der Fall sei, in diesem eine unveränderliche Lage behielten, sondern sich innerhalb des Ringes bewegten, d. h. der Reihe nach alle möglichen verschiedenen Lagen annehmen.

Dieser drehbare Eisenring hatte die Form eines Zahnrades (Fig. 56) mit 16 Zähnen, das auf vier messingenen Speichen *aaaa* (Fig. 57) befestigt und hierdurch mit der

Fig. 56.



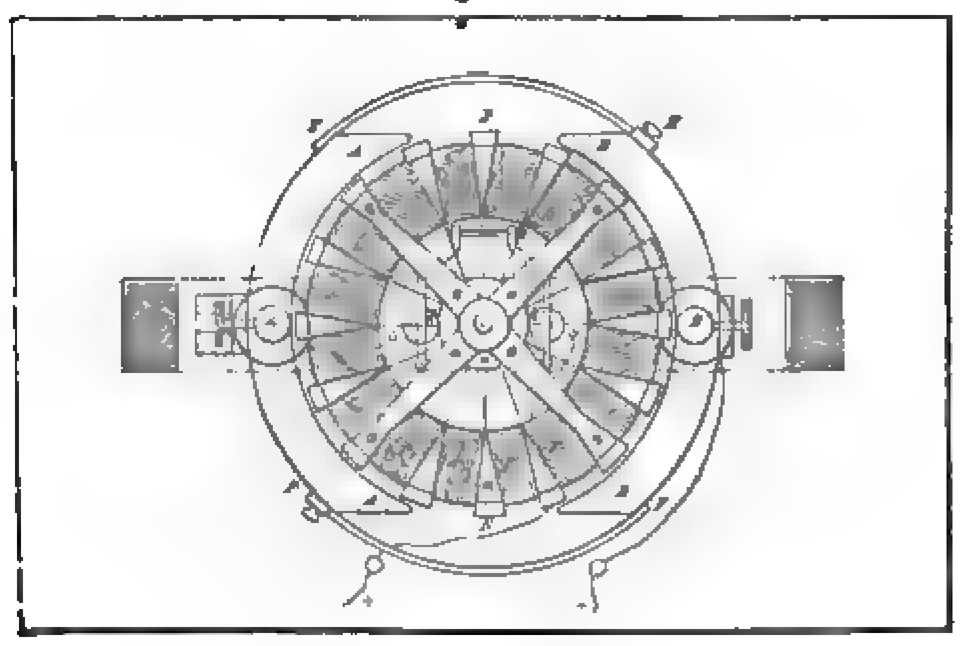
Rahmen zu Pacinotti's Ring.

Achse der Maschine fest verbunden war. Auf die Zähne waren kleine hölzerne Keile *m m* (Fig. 56) gesetzt und die zwischen je zwei Keilen vorhandenen Zwischenräume mit Drahtspulen *r r* . . . (Fig. 57 und 58) ausgefüllt. Die Richtung der Umwindungen war bei allen Spulen eine und dieselbe, und zwar war das Ende jeder Spule mit dem Anfange der nächst benachbarten zusammengelöthet, so dass das ganze System der 16 Drahtrollen eine einzige in sich selbst zurückkehrende, den ganzen Ring gleichmässig umgebende Drahtspirale bildete. Von den einzelnen Löthstellen bogen Drähte rechtwinkelig abwärts und gingen parallel zur Rotationsachse *MM* (Fig. 58) zu eben so vielen von einander isolirten Magnetstücken, die in zwei über einander stehenden Reihen in einen mit der Achse fest verbundenen Holzcylinder *c* eingelassen waren und ein wenig aus diesem Cylinder nach aussen hervortraten. In der Fig. 58 sind diese Messingstückchen dunkel schraffirt gezeichnet.

Zu beiden Seiten dieses wagerechten Ringes waren die

beiden Schenkel AB (Fig. 57 und 58) eines kräftigen Elektromagnets vertical aufgestellt, dessen untere Enden durch eine gemeinsame eiserne Schiene FF (Fig. 58) verbunden waren und sich vermittelst einer unter dem Gestelle angebrachten Schraube G den Spulen des Ringes mehr oder

Fig. 57.



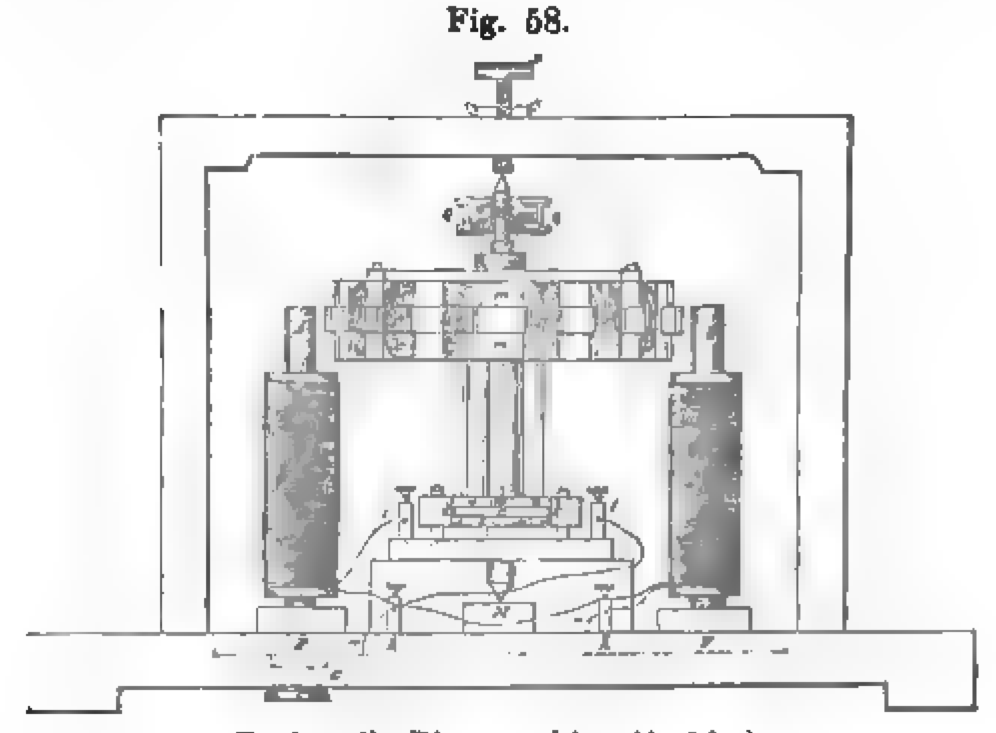
Pacinotti's Ringmaschine (Grundriss).

weniger annähern liessen. Endlich waren noch in der Ebene der Elektromagnete zu beiden Seiten der Rotationsachse zwei messingene Contactrollen $k\,k$ angebracht, deren Umfänge sich auf dem Umfange der unteren, mit den Messingstücken besetzten Holzscheibe abrollten und die bei der Drehung der Achse mit allen Messingstückchen dieser Scheibe nach der Reihe in eine leitende Verbindung kamen. Wenn daher die Klemmen $h\,h'$ mit den Polen einer galvanischen Batterie in Verbindung gebracht werden, so geht der Strom, wenn er bei h (+) eintritt, durch die Klemme l (rechts) nach der Rolle k und über dasjenige Messingstück der Holzscheibe c, welches zufällig mit der Rolle in Contact steht, hinauf nach den beiden Drahtspulen des Eisenringes, deren zusammengelöthete Anfangs- resp. Endpuncte mit diesem Messingstücke in Verbindung stehen.

Von dieser Löthstelle aus verzweigt sich der Strom nach

beiden Seiten des Eisenringes durch die Drahtspulen, welche einen halben Umfang des Ringes bilden, und durchläuft die Spulen beider Halbkreise in entgegengesetzten Richtungen, worauf die beiden Stromzweige in der anderen Contactrolle *k* (links) wieder zusammentreffen und zu dem

Fig. 58.



Pacinotti's Ringmaschine (Aufriss).

zweiten Klemme *l'* übergehen. Von *l'* aus geht sodann der Strom nach dem Elektromagnetschenkel *A* und von diesem zu dem andern Schenkel *B* und schliesslich über die rechts befindliche Klemme *h'* zu dem negativen Pole der Batterie zurück. Auf diese Weise geht also der Strom von demjenigen Puncte des Ringes aus, welcher dem Magnetschenkel *A* oder *B* gegenübersteht, durch die nach beiden Seiten je im Halbkreise des Ringes befindlichen Drahtspulen und zugleich durch die beiden Schenkel *A* und *B* des Elektromagnets, so dass sowohl dieser wie auch der Eisenring magnetisch werden.

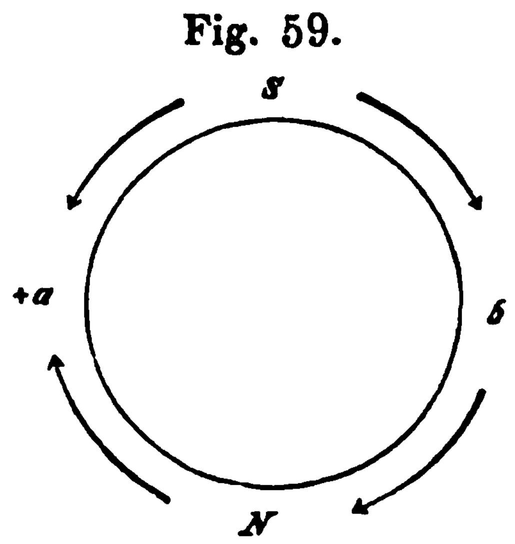
Um die Wirkung des Elektromagnets auf den magnetisch gewordenen Ring möglichst weit auszunutzen, versah *Pacinotti* die beiden Pole mit Armaturen von weichem Eisen *AAA*, *BBB* (Fig. 57), welche sich segmentartig möglichst

nahe an den Ring anschmiegten und von denen jede mehr als ein Drittel des Ringes umfasste; zur grösseren Befestigung waren dieselben mit den messingenen Schienen *E E*, *E E* unter einander verbunden. (In der Figur 58 sind diese Armaturen absichtlich weggelassen, um den Ring und seine Spulen nicht zu verdecken.)

Von einer solchen Disposition sagt *Pacinotti* ganz richtig, dass der Eisenring magnetisch werden muss, indem er seine Pole da zeige, wo die Rheophore (die Klemmen *l* und *l'*, so wie die Contactrollen *k* und *k*) angebracht sind; die gerade Linie, welche diese Pole verbinde, könne man die magnetische Achse nennen, und man könne dieser letzteren durch Verlegung der Contactstücke, welche mit der Batterie in Verbindung stehen, jede beliebige transversale (diametrale) Lage zu dem Eisenringe geben, wesshalb er auch den Eisenring selbst mit seinen Drahtrollen einen transversalen Elektromagnet nenne. Er gibt ferner an, dass sich der Strom in den Spulen des Ringes nach zwei entgegengesetzten Richtungen verzweige und dass man die beiden durch den Strom magnetisch werdenden Hälften des Eisenringes als zwei Elektromagnete ansehen könne, welche mit den gleichnamigen Polen einander gegenüber stehen. Endlich fügt er noch ausdrücklich hinzu, dass in seiner Maschine diese Pole in dem Durchmesser liegen, welche die oben genannten Rheophore der Batterie, das heisst die Contactrollen *k k* mit einander verbindet, also in der durch die beiden Schenkel *A B* des feststehenden Elektromagnets gelegten Ebene. Das ist nun alles ganz richtig; wenn aber *Pacinotti* wirklich nach diesen Angaben seine Maschine ausgeführt hätte, so würde sie wirkungslos gewesen sein, weil die Pole des drehbaren Ringmagnets mit denen des festen Elektromagnets in derselben Ebene lägen und daher eine Drehung des Ringes weder in der einen noch in der anderen Richtung erfolgen könnte. *Pacinotti*

aber sagt von seiner Maschine ausdrücklich, dass sie wirksam sei, und er macht eine Reihe von Versuchen, um das Verhältniss der von der Maschine *m* geleisteten mechanischen Arbeit und des Verbrauchs an Material in der Batterie zu bestimmen; eben hierzu diente ihm die auf die Rotationsachse aufgesetzte Rolle *Q Q* (Fig. 58), welche er durch eine

Fig. 59.



Stromesrichtung im Ringe nach Pacinotti.

Schnur mit einem passenden Gewichte von der Grösse in Verbindung brachte, dass der Zug des letzteren gerade hinreichte, der durch den Strom bewirkten Drehung des Eisenringes das Gleichgewicht zu halten.

Man kann daher nur annehmen, dass die Verwirrung, welche in der Abhandlung von *Pacinotti* unverkennbar vorhanden ist, und der Irrthum, dass die Contactrollen *k k* den Polen des feststehenden Elektromagnets gegenüber gezeichnet sind, während sie 90° davon entfernt stehen müssen,[1]) wenn die Maschine am kräftigsten wirken soll, daher rührt,

[1]) In den Figuren 57 und 58 sind entgegengesetzt zu dem italienischen Texte die Pole des Ringmagnets 90° entfernt von dem Pole des festen Elektromagnets angenommen und mit *N S* bezeichnet, was zwar nicht der Stellung der Contactrollen entspricht, aber doch in der Wirklichkeit der Fall sein muss, wenn die Maschine wirkungsfähig sein soll. In der Maschine von *Pacinotti* haben diese Rollen wahrscheinlich die richtige Stellung den Buchstaben *N S* gegenüber oder 90° entfernt von den Schenkeln des Elektromagnets *A B* gehabt. Auch in der Figur 59 findet sich ein Fehler, da der zwischen *S* und *b* liegende Pfeil seine Spitze dem Buchstaben *S* und nicht dem *b* zuwenden muss, wie es auch die Worte *Pacinotti's* ausdrücklich verlangen.

ass zwischen der Ausführung der Maschine im Jahre 1860 nd der Veröffentlichung der Abhandlung, die zwischen den ahren 1863 und 1865 fällt, ein grosser Zeitraum liegt, nd *Pacinotti* bei der Ausarbeitung seiner Abhandlung nicht it der erforderlichen Sorgfalt verfahren ist, vielleicht auch ltere Zeichnungen benutzte, die als Entwürfe gedient hatten nd die zu der wirklichen Ausführung der Maschine nicht anz stimmten.

Die vorstehende Beschreibung des *Pacinotti*'schen Ringes nd seiner Wirkung bezieht sich auf seine Verwendung in iner elektro-magnetischen Maschine; aber *Pacinotti* hat egen das Ende seiner Abhandlung genau angegeben, wie an mittelst derselben Ringarmatur mit Leichtigkeit die lektro-magnetische Maschine in eine magnet-elektrische mwandeln und dann unter Anwendung eines permanenten der eines Elektromagnets einen continuirlichen stets in derelben Richtung fliessenden Strom erhalten könne. Da wir amit das Gebiet der neuesten magnet-elektrischen Maschinen etreten und dadurch schlagend nachgewiesen wird, dass das Recht der Priorität in Bezug auf die Erfindung und erste nwendung der Ringarmatur auf Seiten *Pacinotti's* steht, o geben wir den betreffenden Auszug aus dem italienischen Original in wörtlicher Uebersetzung wieder.

„Wenn man den Elektromagnet *A B* (Fig. 57 und 58) lurch einen permanenten Magnet ersetzte und man den Transversalmagnet (den Ring) rotiren liesse, so hätte man n der That eine magnet-elektrische Maschine, welche inen continuirlichen stets in derselben Richtung liessenden Inductionsstrom lieferte. Um auf dem Commutator[1]) die geeignetste Stelle zu finden, wo dieser

---

[1]) *Pacinotti* nennt die untere mit Messingstücken besetzte Holzscheibe *c* mit Unrecht „Commutator“, da sie nicht die Aufgabe hat, den Strom zu commutiren, sondern ihn aus den Drahtspulen des Ringes nach der Leitung hin abzuführen.

inducirte Strom (aus dem Ringe in die Leitung) übergeführt werden muss, bedenken wir, dass dem Pole des feststehenden Magnets gegenüber durch Influenz in dem drehbaren Ringe und zwar an dem Endpuncte eines Durchmessers desselben entgegengesetzte Pole entstehen. Diese Pole *N S* (Fig. 57)[1]) behalten während der Drehung des Ringes um seine Achse ihre feste Lage, und so dürfen wir bezüglich des Magnetismus und folglich auch der inducirten Ströme die Sache so ansehen, als ob die Drahtspulen um den Ring rotirten und der Eisenring selbst unbeweglich fest stehen bliebe. Zur näheren Untersuchung der inducirten Ströme, welche in diesen Drahtspulen erzeugt werden, betrachten wir eine von ihnen in den verschiedenen Lagen, welche sie nach einander einnehmen kann. Wenn wir vom Pole *N* (Fig. 59) über *a* nach dem Pole *S* fortschreiten, so wird sich auf diesem Wege ein Strom bilden, der seine Richtung beibehält, bis wir zu dem mittlern Puncte *a* gekommen sind; über diesen Punct hinaus nimmt der Strom die entgegengesetzte Richtung an. Schreiten wir dann vom Pole *S* über *b* nach dem Pole *N* weiter, so behält der Strom bis zum mittlern Puncte *b* die Richtung unverändert bei, welche er auf der Strecke zwischen *a* und *S* hatte; über *b* hinaus ändert sich die Richtung abermals und wird dieselbe, welche auf der Strecke von *N* bis *a* vorhanden war. Da nun alle Drahtspulen unter einander in Verbindung stehen, so werden sich alle elektromotorischen Kräfte von einer und derselben Richtung summiren und einen Totalstrom erzeugen, dessen Richtung durch die Pfeile in Fig. 59 angedeutet ist. Die zur Aufnahme dieses Stromes am meisten geeigneten Stellen werden daher *a* und *b* sein, das heisst, die Contactrollen am Commutator müssen in rechten Winkeln zu der magnetischen Kraft-

---

[1]) Wir haben schon gesagt, dass hier ein Mangel an Uebereinstimmung zwischen Text und Abbildung vorliegt.

linie des Elektromagnets angebracht werden. Der inducirte Strom ändert seine Richtung, wenn man den Ring in entgegengesetzter Richtung dreht. Wenn man dagegen die Stromsammler am Commutator in der Verbindungslinie der Pole des Elektromagnets anbringen wollte, würden sie bei der Drehung des Ringes keinen Strom erhalten. Brächte man sie etwas zur Seite dieser Linie an, so entstände ein Strom von entgegengesetzter Richtung zu demjenigen Strome, den man erhalten würde, wenn man sie an der anderen Seite jener Linie anbrächte."

Pacinotti hat sich übrigens mit dieser theoretischen Betrachtung seiner Maschine nicht begnügt, sondern er hat theils mit Hülfe eines permanenten Magnets, theils unter galvanischer Magnetisirung des Elektromagnets *A B* durch die mechanische Drehung der Ringarmatur inducirte Ströme erzeugt und durch die Ablenkung der Magnetnadel constatirt, dass die Maschine in dieser Form einen ununterbrochenen Strom von einer und derselben Richtung liefere, ohne dass besondere mechanische Einrichtungen nöthig gewesen wären, um Ströme von entgegengesetzten Richtungen in gleichgerichtete umzuwandeln. Wenn es zu bedauern ist, dass sich in der Abhandlung *Pacinotti's* zwischen seinen Worten und den dieselben erläuternden Abbildungen nicht zu vereinbarende Abweichungen vorfinden, so geht doch aus derselben unzweifelhaft hervor, dass dieser Gelehrte in richtiger Erkenntniss der Mängel der früheren magnet-elektrischen Maschinen, welche Wechselströme lieferten und daher in den meisten Fällen der praktischen Anwendung mit Commutatoren versehen sein mussten, das ganze neue Princip des elektro-magnetischen Ringes aufgestellt, die Wirkungsweise dieses Ringes klar aufgefasst und danach eine elektro-magnetische Maschine construirt hat, welche leistungsfähig war; es geht ferner daraus hervor, dass er die Umkehrung dieser Maschine und ihre weitere Ausbildung zu

einer magnet-elektrischen angegeben und zur Ausführun
gebracht hat, und dass ihm daher die Ehre gebührt, di
Ringarmatur erfunden und zuerst praktisch angewandt zu
haben.

30. Construction des Gramme'schen Ringes. Die Wichtigkeit und die Tragweite der *Pacinotti*'schen Erfindung gewann erst ihre volle Bedeutung, nachdem im Jahre 1867 *Dr. W. Siemens* das Princip der Umsetzung mechanischer Arbeit in Magnetismus und Elektricität in seinen dynamo-elektrischen Maschinen (§. 21 und 22) zur Ausführung gebracht hatte.

Indessen erst unter dem 10. Juli 1871 kündigte *Jamin*[1] der französischen Akademie der Wissenschaften an, dass *Gramme* eine neue magnet-elektrische Maschine erfunden habe, welche continuirliche Ströme liefere. Der vorgeschrittenen Zeit wegen musste *Jamin* seinen Vortrag bi zur nächsten Sitzung (17. Juli) verschieben, wo dann di *Gramme*'sche Maschine selbst der Akademie vorgezeigt un erklärt wurde.

Der Hauptbestandtheil der *Gramme*'schen magnet-elektrischen Maschine ist der Ring des *Pacinotti* (§. 29), de jedoch ohne Zweifel von *Gramme* selbstständig erfunde und in constructiver Beziehung nicht unwesentlich verbesse worden ist.

Zénobe Théophile Gramme, ein Belgier von Geburt, wa in der *Compagnie l'Alliance* (§. 15) als Modellschreine beschäftigt und besass bereits eine Reihe von Patenten übe Regulatoren des elektrischen Lichtes u. s. w., als er, ohne di Abhandlung oder die Maschine von *Pacinotti* zu kennen zuerst auf die Idee kam, innerhalb eines feststehenden hohlen mit einem Drahtgewinde umgebenen Eisenringes einen in

---

[1]) Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. LXXII p. 144 und 175.

ducirend wirkenden Magnet rotiren zu lassen und dadurch einen ununterbrochenen Strom von derselben Richtung zu erzeugen. Erst später adoptirte er die Einrichtung *Pacinotti's* und liess den Ring zwischen den Polen eines festen Magnets oder Elektromagnets rotiren. In constructiver Beziehung änderte er den Ring des *Pacinotti* unter Beibehaltung der Art und Weise, wie die Drahtspulen aufgewunden und unter einander und mit der Ableitungsstelle verbunden sind, dahin ab, dass er diesen letztern, von *Pacinotti* mit Unrecht Commutator genannten Theil in den die Mitte des Ringes einnehmenden Luftraum verlegte und damit den ganzen rotirenden Theil (Ring und Ableitung) zu einem compacten und fest geschlossenen Ganzen vereinigte, was bei der sehr grossen Rotationsgeschwindigkeit, welche diese Theile annehmen müssen, behufs Vergrösserung der Stabilität und für die dauerhafte Erhaltung der Maschine von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist.

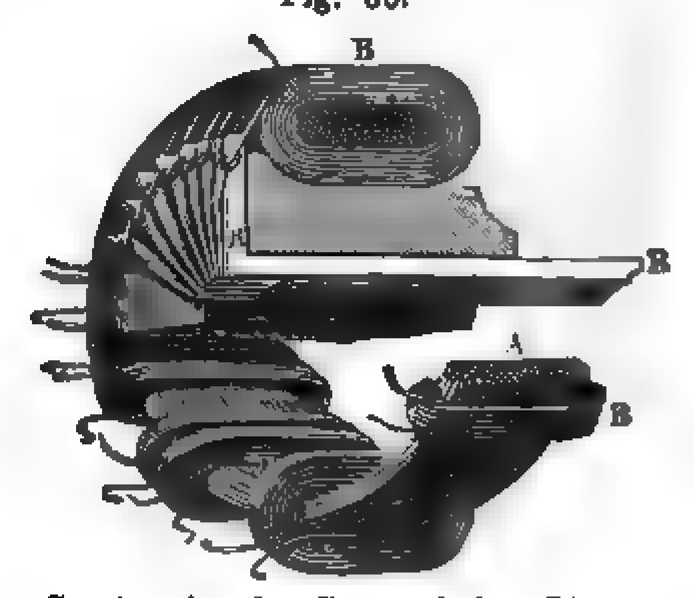
Da wir bereits in §. 10 das Princip und die Wirkungsweise des *Gramme*'schen Ringes in seiner Disposition als magnet-elektrische Armatur in der Hauptsache näher erläutert haben, so können wir sofort in das Detail der Construction des *Gramme*'schen Ringes eintreten.

Wir haben schon gesagt, dass die Umwickelung des Ringes aus weichem Eisen aus einzelnen dicht aneinander gerückten Rollen eines isolirten Kupferdrahtes besteht, welcher unmittelbar auf den eisernen Kern aufgewickelt wird. Die benachbarten Enden zweier aneinander stossender Drahtrollen werden zusammengelöthet, so dass die sämmtlichen Windungen einen einzigen ununterbrochenen Draht, eine Leitung ohne Ende bilden, welche in eine bestimmte Anzahl gleicher Theile getheilt wird. Die Anzahl solcher einzelnen Spulen, welche aus 300 und mehr Umwindungen bestehen, ist je nach der Grösse und dem Zwecke der Maschine sehr verschieden; während die kleinen Hand-

maschinen deren 30—32 haben, geht ihre Zahl bei den grossen für die Erzeugung des elektrischen Lichtes bestimmten Maschinen über 100. Die Löthstellen, welche je zwei aufeinander folgende Spulen verbinden, sind gleich weit von einander entfernt und liegen alle auf einer und derselben Seite des Ringes, welche wir die **hintere** Seite nennen wollen.

Einen Ring dieser Art sehen wir in *A B*, Fig. 60, als den Hauptbestandtheil der in den folgenden Figuren abgebildeten Maschinen und zwar mit seinem hintern Theile; zum bessern

Fig. 60.



Construction des Gramme'schen Ringes.

Verständnisse seiner Einrichtung ist in der Figur nur ein Theil gezeichnet worden und einige der unteren Spulen *B* sind von einander gerückt, um ihre Drahtenden sowie den eisernen Kern deutlich sehen zu können. Dieser Kern *A* ist keine massive Eisenstange, sondern wird in der Regel aus einer Reihe gut ausgeglühter Eisendrähte zusammengesetzt, weil er in dieser Form am leichtesten den Magnetismus annimmt und wieder abgibt. Der innere Raum des Ringes wird durch eine Holzscheibe ausgefüllt, die zur Befestigung derjenigen kupfernen Drähte dient, welche jede Löthstelle zur Achse leitet; mit dieser Holzscheibe ist dann der Ring nebst seinen Leitungsdrähten auf der Rotations-

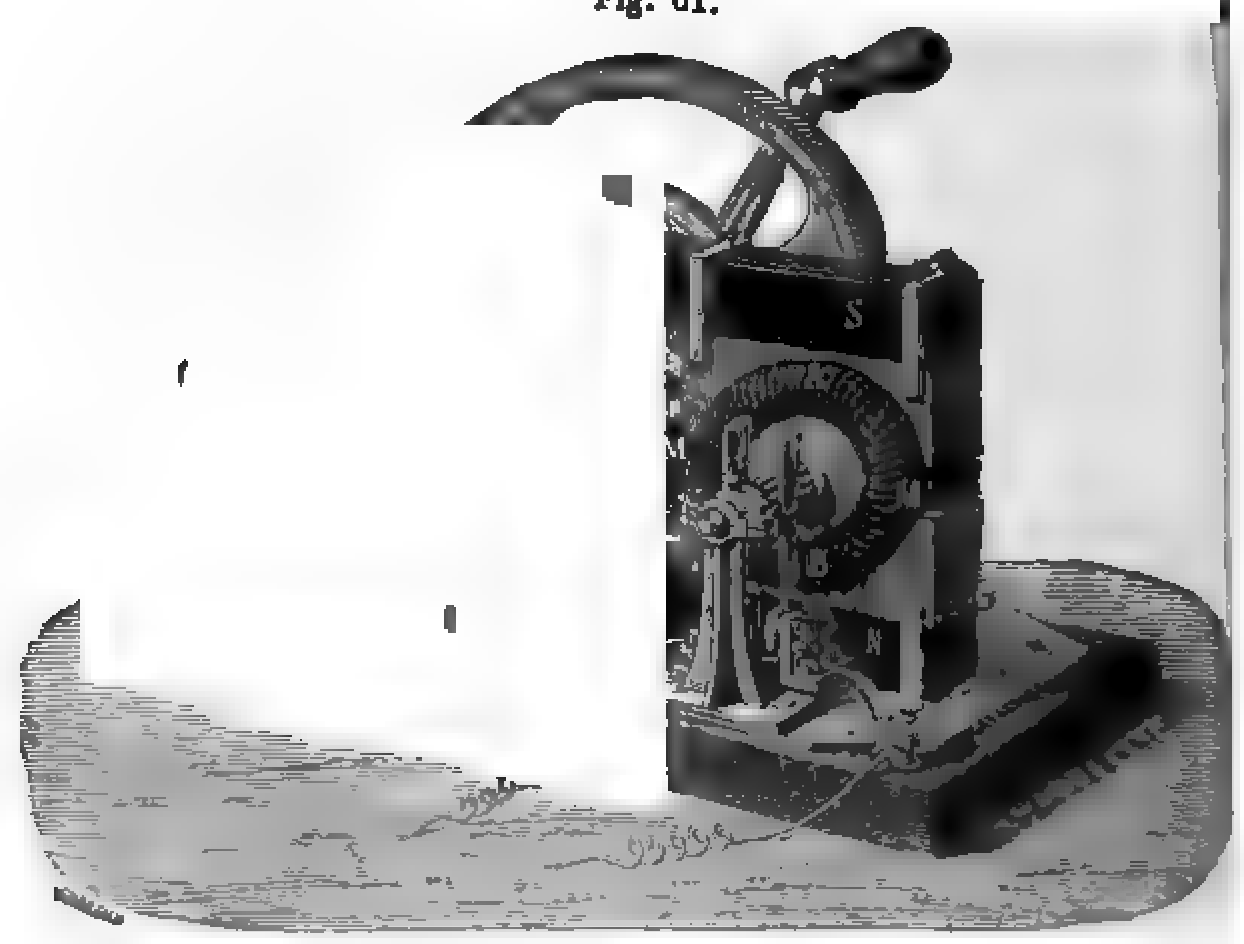
achse der Maschine befestigt, wie dieses aus der folgenden Abbildung zu ersehen ist. Die hölzerne Nabe ist leider als wunder Punct der *Gramme*'schen Maschine zu betrachten, da dieselbe sich lockern und dadurch Störungen bedingen kann; obwohl dieser Fehler nur sehr selten beobachtet worden ist, muss doch in dieser Beziehung eine Verbesserung der Maschine durch Wahl eines anderen Materials angestrebt werden.

Die Verbindung oder, richtiger ausgedrückt, die Zuleitung jeder einzelnen Drahtspule zu der Achse wird auf folgende Weise ausgeführt. Von jeder Löthstelle der Spule geht auf der hinteren Seite des Ringes ein Kupferdraht *R* radial hinter der Holzscheibe bis nahe an die Rotationsachse herab, ist dann rechtwinkelig umgebogen und geht hierauf durch die Scheibe parallel zur Achse weiter, wo er auf der vorderen Seite des Ringes noch etwa 3—4cm aus der Holzscheibe nach aussen hervorragt. Solcher kupferner Leitdrähte oder Strahlstücke sind demnach ebenso viele vorhanden als Drahtrollen sich auf dem Ringe befinden; während ihre hinteren Hälften radial zur Achse hinlaufen, wie man es in der Fig. 60 für die acht oberen Spulen deutlich sieht, bilden die mit der Achse parallelen vorderen Hälften einen hohlen Cylinder von kleinem Durchmesser, den sogenannten Collector, durch welchen die Rotationsachse frei hindurchgeht. Die Strahlstücke sind sowohl unter sich als auch von der Achse sorgfältig isolirt, jedoch vermittelst der dieselben leitenden Holzscheibe mit der Achse fest verkuppelt.

Auf der hinteren Seite des Ringes enthält die Rotationsachse ein Getriebe oder eine Riemenscheibe, auf welche das grössere Triebrad einwirkt, um den Ring in eine rasche Umdrehung zu versetzen, während auf der vorderen Seite die Theile angebracht werden, die dazu bestimmt sind, um die entwickelte Elektricität in der Form eines continuirlichen Stromes von unveränderlicher Richtung nach aussen in die Leitung zu führen.

31. Die Gramme'sche Maschine. Die Fig. 61 stellt die Construction einer für den Handbetrieb eingerichteten kleinen *Gramme*'schen Maschine dar, welche eine Stromstärke liefert, die dem Strome von ungefähr drei *Bunsen*'schen Elementen gleichkommt. An derselben erkennt man sofort den Ring *AB* mit den darauf gewickelten Drahtspulen und den nach vorn

Fig. 61.



Die Gramme'sche Maschine.

heraustretenden, auf der Achse sitzenden, von einander und von der Achse isolirten Strahlstücken. Der aus mehreren Lamellen zusammengesetzte Stahlmagnet ist an seinen beiden Polenden *S N* mit Schuhen von weichem Eisen versehen, welche halbkreisförmig ausgeschnitten sind und den Ring *A B* möglichst nahe und weit umfassen, so dass nur ein kleiner Theil desselben an den beiden magnetischen Indifferenzstellen von der Einwirkung der Polschuhe frei bleibt. Durch Influenz, Vertheilung (§. 2) erhält die Stelle *A* des Eisenringes, welche dem Südpole *S* am nächsten ist, einen Nord-

pol, den wir in Fig. 21 und 24 mit *n* bezeichnet haben; ebenso wird die diesem Pole diametral gegenüberliegende Stelle des Ringes durch den Einfluss des Nordpols *N* zu einem Südpole; *M* und *M'* sind daher die beiden magnetischen Indifferenzstellen.

Wird der Ring durch Drehung des grössern Zahnrades, welches in ein kleineres auf der Ringachse sitzendes Getriebe eingreift, in eine schnelle Umdrehung versetzt, so entstehen auf die im §. 10 beschriebene Weise zwei Systeme entgegengesetzter Inductionsströme, welche nach aussen zu einem continuirlichen Strome von unveränderlicher Richtung abgeleitet werden, wenn man die durch die beiden Indifferenzstellen $M\, M_1$ hindurchgehenden Drahtspulen metallisch mit einander verbindet. Anstatt nun alle diese Drahtrollen auf der Oberfläche von der isolirenden Seidenumspinnung zu befreien und den Draht blosszulegen, was offenbar misslich wäre, hat *Gramme* die Drahtenden selbst durch die rechtwinkelig umgebogenen kupfernen Strahlstücke zu einem dünnen Cylinder auf der Achse zusammengeführt, und zwar derart, dass eine durch die Indifferenzstellen $M\, M_1$ und die Achse gelegte (in der Figur wagerechte) Ebene zugleich diejenigen beiden Strahlstücke enthält, welche zu den in den Indifferenzstellen befindlichen Drahtrollen gehören. Um also den Strom aus dem Ringe nach aussen abzuleiten, ist nur erforderlich, diese beiden Strahlstücke durch eine Leitung metallisch zu verbinden, worauf die letztere bei der Rotation des Ringes sofort von dem Strome durchflossen wird.

Zu diesem Zwecke bringt *Gramme* zu beiden Seiten der Achse zwei federnde, aus lockeren Kupferfäden zusammengesetzte Drahtbündel (Bürsten oder Besen) an, welche immer genau auf denjenigen Strahlstücken schleifen, die zu den in *M* und M_1 stehenden Spulen führen. Die Bürstenhalter sind schliesslich durch Metallschienen mit zwei daneben stehenden Klemmen in Verbindung gebracht, von

welchen aus die weitere Leitung abgeht. Hierdurch sind alle Bedingungen auf eine ebenso einfache als sichere Weise in Erfüllung gebracht, welche zur Erzeugung eines continuirlichen Stromes erforderlich sind. Diese Continuität des Stromes ist, wie wir bereits gezeigt haben, das Resultat der continuirlichen Bewegung von sehr vielen Drahtrollen, welche wegen der Ringform ihrer Anordnung bei der Drehung um die gemeinschaftliche Achse in Bezug auf die inducirenden äusseren wie inneren Magnetpole in ihrer Gesammtheit eine unveränderliche Lage behalten; dieser Strom wird ferner bei der Drehung des Ringes und bei seiner Ableitung aus der Maschine an keiner Stelle unterbrochen, da die Bürsten so breit, biegsam und elastisch sind, dass sie gleichzeitig gegen ein paar Strahlstücke anfedern und mit mehreren ihrer Metalldrähte schon das nächste Strahlstück berühren, bevor sie das vorhergehende verlassen haben. Da der Strom ausserhalb des Ringes schon von selbst stets dieselbe Richtung behält, so ist ein Commutator nicht erforderlich; es entstehen daher an den Schleiffedern keine Funken und ein Abbrennen der Contactstellen ist verhütet.

Aus der Figur 24 ist leicht zu ersehen, dass man die Summe aller während einer Rotation erzeugten Ströme, also die grösste Stromstärke, erhält, wenn man die Bürsten so stellt, dass die Verbindungslinie ihrer Schleifstellen senkrecht zu der Verbindungslinie der Magnetpole steht, dass man dagegen gar keinen Strom erhält, wenn jene Linie mit der Pollinie zusammenfällt. Stellt man diese Bürsten näher aneinander, jedoch so, dass ihre Verbindungslinie nicht parallel zu der Pollinie ist, so gibt die Maschine auch dann noch einen Strom, der aber um so schwächer ist, je näher die Reiber aneinander stehen. Die Richtung dieses Stromes ist je nach der Stellung der Bürsten verschieden; stehen diese z. B. auf den zwischen MS und $M_1 N$ liegenden Strahlstücken, so ist die Richtung des Stromes anders, als

wenn sie auf den zwischen $S M'$ und $M' N$ liegenden Strahlstücken aufliegen. Hieraus aber folgt zugleich, dass man durch Anwendung mehrerer Paare von Bürsten von einem und demselben Ringe mehrere Ströme ableiten kann, wie es auch möglich ist, aus einer mehrzelligen galvanischen Batterie mehrere Einzelströme abzuzweigen. Auch ist es selbstverständlich, dass man mehrere vollständige Maschinen durch geeignete Verbindung ihrer Leitungsklemmen sowohl auf Quantität als auf Intensität (Spannung) kuppeln kann.[1])

Den letztern Zweck erreicht man jedoch einfacher durch eine geeignete Wahl der Stärke des auf den Ring aufzuwickelnden Drahtes. Im Allgemeinen erscheint die Intensität (die Spannung) des Stromes bei gleicher Umdrehungs-Geschwindigkeit der Zahl der Drahtwindungen proportional zu sein; da jedoch der innere Widerstand innerhalb der Maschine in demselben Verhältnisse wächst, so wird man in den meisten Fällen dicke Drähte anwenden, bei welchen die Quantitäts-Effecte grösser sind als bei dünnen Drähten. Wenn jedoch der äussere Widerstand in der Leitung seiner Natur nach sehr gross ist, wie z. B. bei den Telegraphenlinien, so wird man dem dünnen Drahte den Vorzug geben. Uebrigens sind die kleinen, für die physikalischen Cabinette und die chemischen Laboratorien bestimmten *Gramme*'schen Maschinen so eingerichtet, dass man den Quantitätsring mit dickem Drahte je nach Bedürfniss durch einen Intensitätsring mit dünnem Drahte auswechseln kann.

32. Die Gramme'schen Maschinen mit Hand- oder Fussbetrieb, die Cabinets-Maschinen werden gegenwärtig von dem durch die Construction von Präcisions-Instrumenten jeder Art weit über Frankreich hinaus berühmten Hause *Breguet* in Paris angefertigt und sind dazu bestimmt, theils für medicinische Zwecke bis zu einem gewissen Grade die Batterien zu ersetzen, theils für den Unterricht in der Physik und

---

[1]) Vgl. Abth. 12.

der Chemie einen allezeit dienstbereiten Apparat zu besitzen, um ohne weitere Vorbereitung sofort einen galvanischen Strom von der Stärke einer achtzelligen *Bunsen*'schen Batterie zu erzeugen.

Die ersten Apparate dieser Art, Fig. 61, enthielten einen wagerecht liegenden, auf die hohe Kante gestellten Magnet, und ihre Stromkraft entsprach etwa drei *Bunsen*'schen Elementen. Sie wurden bald durch die in Figur 62 abge-

Fig. 62.

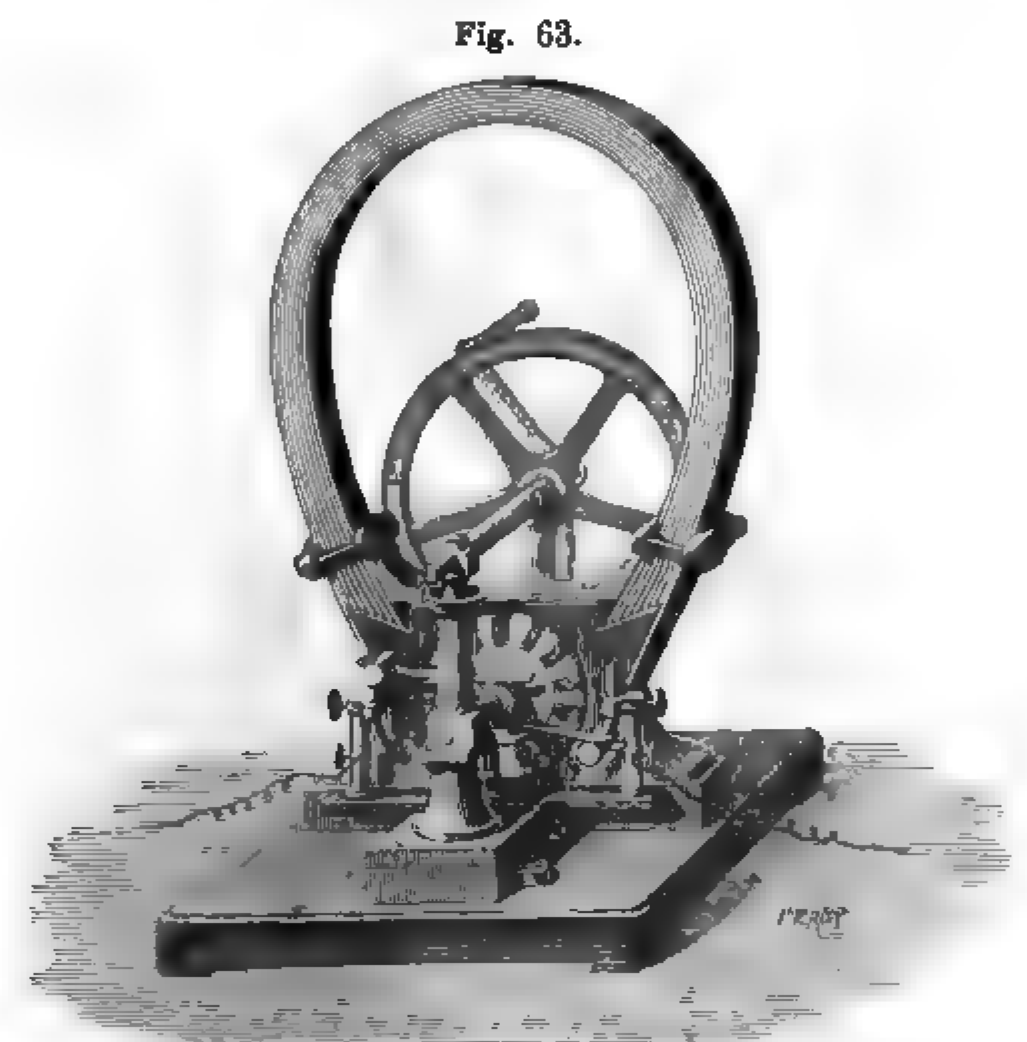


Gramme'sche Maschine für Handbetrieb.

bildete Maschine ersetzt, bei welcher der Magnet weit kräftiger, der Ring aber derselbe war, und erhielten schliesslich die gegenwärtige Form, Figur 63 und 64.[1])

Das Charakteristische in diesen Maschinen, deren Strom mit acht *Bunsen*'schen Elementen von gewöhnlicher Grösse

Fig. 63.



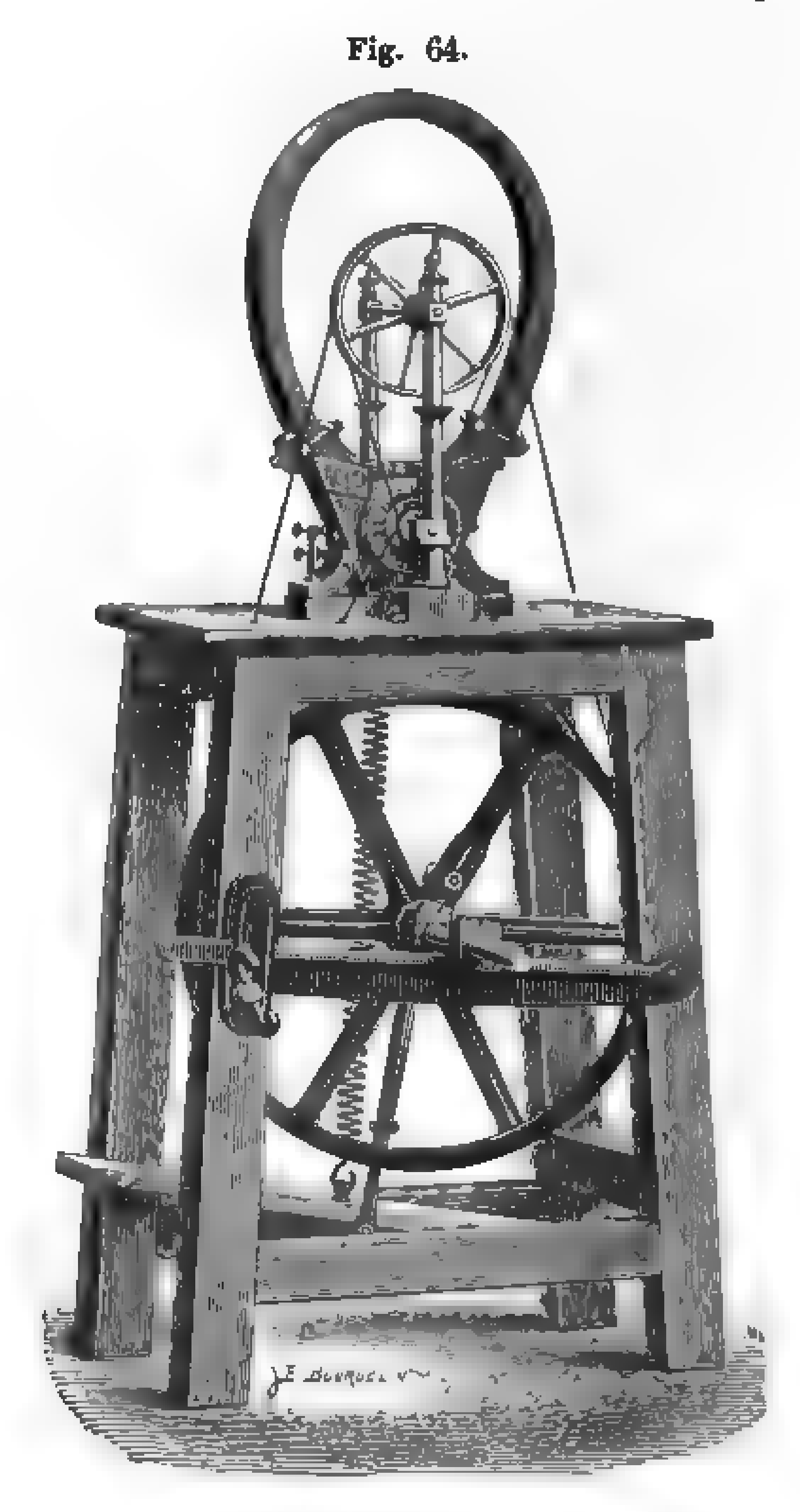
Gramme'sche Handmaschine mit Blättermagnet.

äquivalent ist, ist die besondere Form und Zusammensetzung des Stahlmagnets. Derselbe besteht nach den Angaben von Professor *Jamin* in Paris aus einer grösseren Zahl dünner Stahl-Lamellen, die durch zwei seitliche Klemmschienen fest zusammengepresst sind, an ihren unteren Enden aber etwas auseinandertreten und in massive Polschuhe übergehen,

[1]) Die neue Disposition zum Fussbetriebe rührt von *M. Raffard* her; näheres siehe „Machines Electriques... par A. Niaudet“ 2. e. p. 13.

die den Ring beinahe ganz eng umschliessen. Die Drahtbürsten schleifen wie immer auf denjenigen Stahlstücken, welche zu den in den Indifferenzstellen des Ringes befind-

Fig. 64.



Gramme'sche Maschine mit Fussbetrieb.

lichen Drahtspulen führen, d. h. die Linie ihrer Contactstellen steht senkrecht zu der Linie der Magnetpole.

Jamin fand aus einer Reihe von Versuchen über die Art und Weise, wie der Magnetismus in einer einzelnen Stahl-Lamelle vertheilt ist, dass man diese Vertheilung durch eine aus zwei Zweigen bestehende Curve darstellen könne; die Zweige liegen zwischen der Verbindungslinie beider Pole und zwei hierauf senkrecht stehenden Linien, von denen die eine beispielsweise über dem Nordpole, die andere unter dem Südpole liegt. Wenn er dann auf die erste magnetisirte Lamelle eine zweite legte, nahm die Vertheilungscurve eine weniger concave Form an als früher; bei der dritten Lamelle wird die Curve noch flacher und das geht so weiter, bis dieselbe bei einer gewissen Anzahl solcher aufeinandergelegter und magnetisirter Stahlblätter in eine gerade Linie übergeht. *Jamin* nennt diesen Magnet den Normalmagnet; in ihm ist das Maximum des Magnetismus erreicht und eine weitere Hinzufügung von neuen magnetisirten Lamellen gibt keine Verstärkung des Magnetismus. Wenn man jedoch die Pole des Normalmagnets mit Armaturen von weichem Eisen versieht, muss man die Anzahl der einzelnen Lamellen über das Maximum hinaus vermehren, um in den Armaturen denselben Grad des Magnetismus zu erhalten, wie in den Lamellen. Ein so zusammengesetzter Blättermagnet (aimant feuilleté) besitzt eine weit grössere Tragkraft, als ein auf die alte Weise durch Aufeinanderlegen von wenigen und dicken Stahl-Lamellen construirtes magnetisches Magazin.

33. Die Gramme'schen dynamo-elektrischen Grossmaschinen für galvanoplastische Arbeiten. So lange zur Erregung des Stromes Stahlmagnete angewendet wurden, konnte die Stromstärke nicht sehr bedeutend werden, oder man hätte ähnliche Dimensionen annehmen müssen, wie sie die älteren magnet-elektrischen Maschinen der Gesellschaft *l'Alliance* etc. darbieten. *Gramme* ging daher sehr bald dazu über, die Stahlmagnete durch kräftige Elektromagnete zu ersetzen, und

verwendete nach dem dynamo-elektrischen Princip (§. 21) einen Theil des von dem Ringe erzeugten Stromes dazu, die Elektromagnete zu erregen. Es ist einleuchtend, dass man statt eines Magnets mit 2 Polen zwei Magnete oder Elektromagnete mit 4 Polen auf die Drahtspulen des Ringes einwirken lassen kann; die Polschuhe lassen dann nur an den 4 Indifferenzstellen einen kleinen freien Raum zwischen sich frei, und diesen Stellen entsprechen dann auch 4 Drahtbürsten, um die Ströme aus dem Ringe in die Leitung abzuführen.

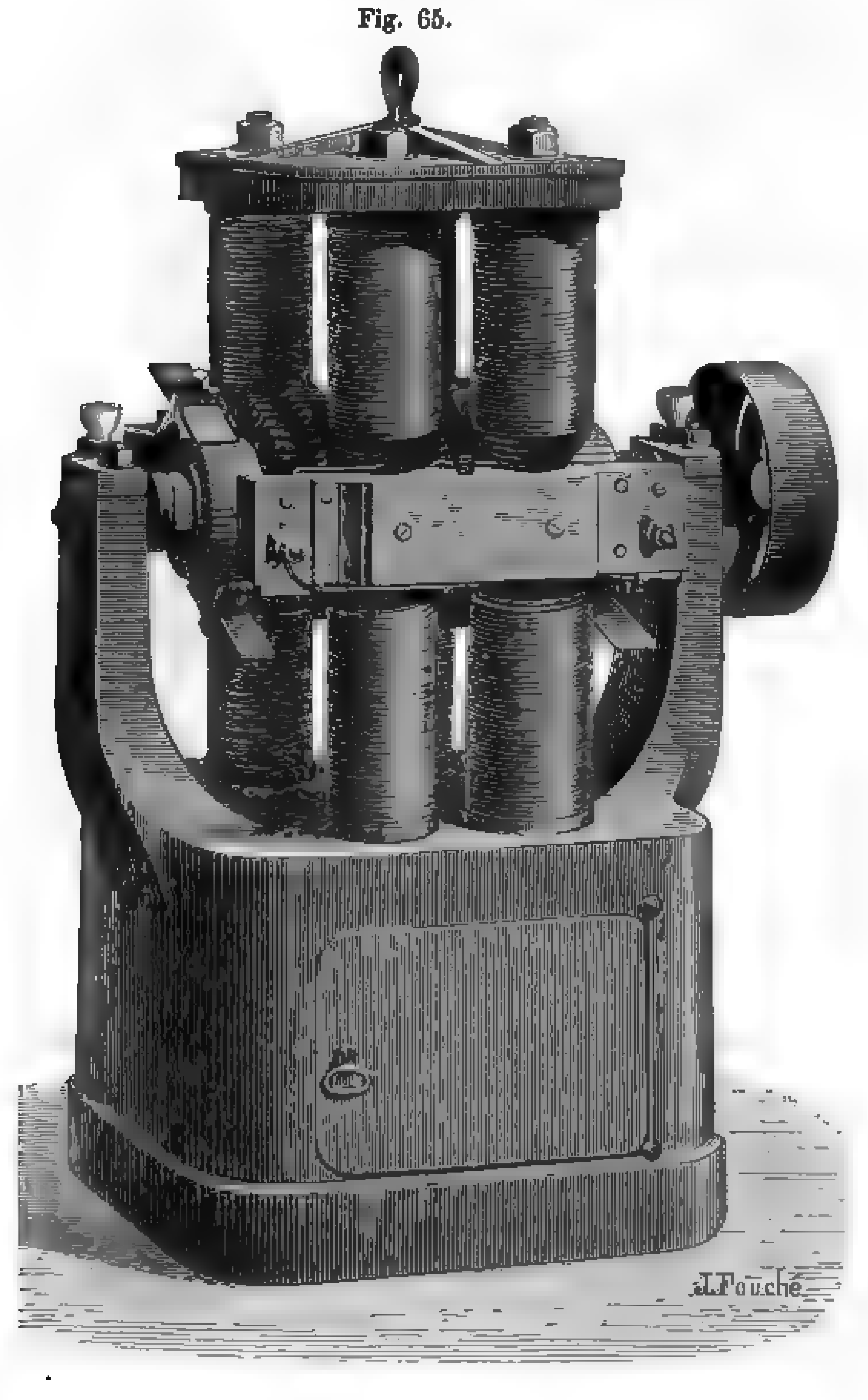
Die erste dynamo-elektrische Grossmaschine wurde von *Gramme* im Jahre 1872 in den Werkstätten von *Breguet* für das galvanoplastische Institut von *Christofle & Cie.* in Paris gebaut, und sie functionirt noch heute zur vollen Zufriedenheit der Besitzer, ohne dass sie in den neun Jahren irgend einer Reparatur bedürftig gewesen wäre. Schon gegen das Ende desselben Jahres wurden nach derselben Anordnung zehn andere Maschinen auf gusseisernen Gestellen gebaut, von denen das genannte Haus allein sechs Stück ankaufte.

Diese Maschinen haben die in Fig. 65 abgebildete Einrichtung mit 4 Elektromagneten und 2 Ringen. Der eine Ring erzeugt die Ströme zur Erregung der Elektromagnete, während der andere den nutzbaren Arbeitsstrom liefert. Da bei dieser Anordnung das dynamo-elektrische Princip nur zum Theil zur Ausführung gebracht ist, sind die Maschinen gross und schwer; sie wiegen 750 kg, und das Gewicht des darin verwandten Kupferdrahtes beträgt 175 kg. Sie sind 1,30 m hoch, 0,80 m breit und liefern einen Niederschlag von 600 g Silber in der Stunde; zu ihrem Betriebe ist 1 Pferdekraft erforderlich.

Ende 1873 baute *Gramme* nach einem ganz andern Modell eine neue dynamo-elektrische Ringmaschine für galvanoplastische Arbeiten, die vor der vorigen wesentliche Vorzüge hat. Wie die Fig. 66 zeigt, hat dieselbe nur einen Ring

l nur zwei wagerecht liegende Elektromagnete; sie ist ıer kleiner, leichter und billiger als die früheren Maschinen.

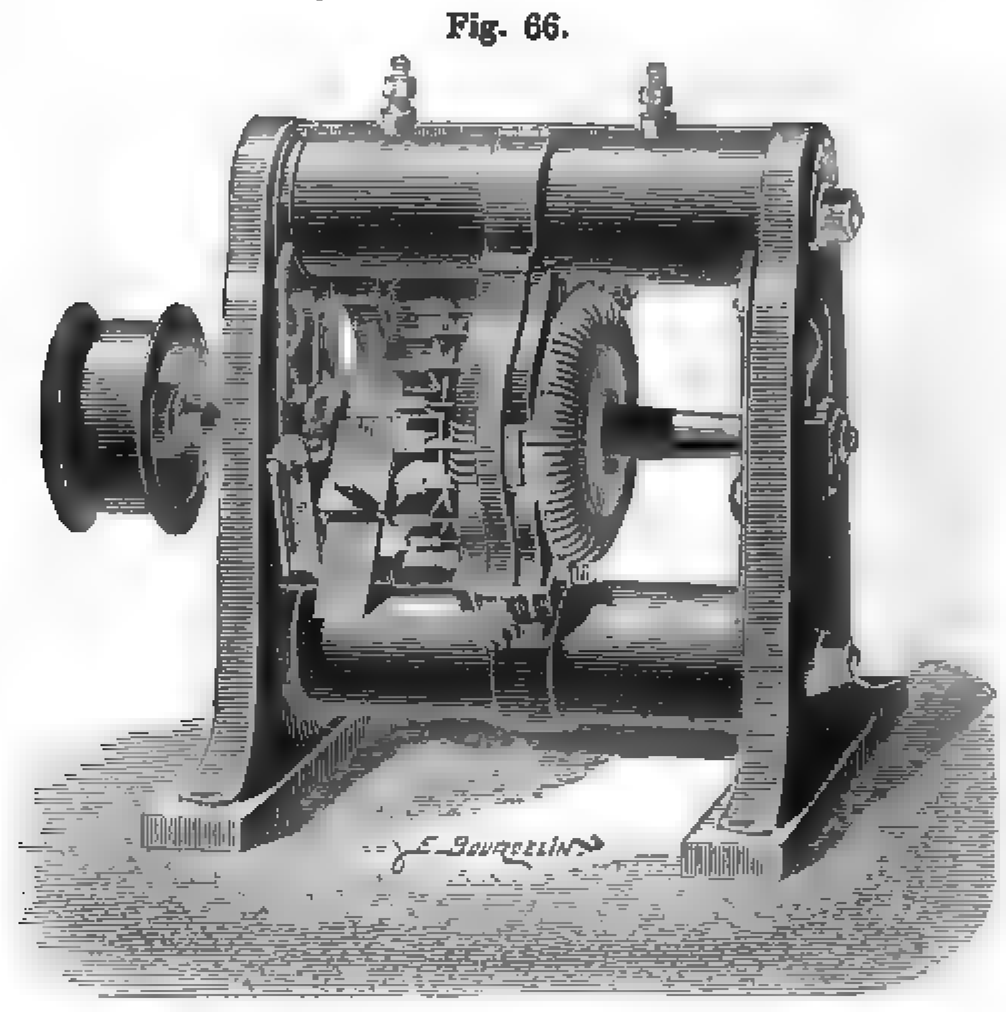
Fig. 65.



Die Gramme'sche Grossmaschine für Galvanoplastik, altes Modell.

Ihr Gewicht ist nur 177,5kg, das des Kupfers für den Ring und die Elektromagnete 47kg; ihre Dimensionen sind 0,55m in Länge und Breite, 0,60m in Höhe. Der Niederschlag beträgt wie bei der vorigen Maschine 600g Silber in der Stunde; zu ihrem Betriebe sind nur 50kg oder ²/₃ Pferdekraft nötig.

Fig. 66.



Neuere Gramme'sche Maschine für Galvanoplastik.

Verglichen mit dem Modell von 1872 bietet diese neue Maschine, nach welcher seitdem alle übrigen construirt worden sind, folgende Vorzüge: 1) sie beansprucht nur halb so viel Raum; 2) ihr Gewicht beträgt kaum ein Viertel der alten Maschinen; 3) das Gewicht des Kupfers ist ebenfalls nur ein Viertel des früheren, und 4) ihr Nutzeffect ist 30 % der ganzen Betriebskraft.

Alle diese Vorzüge wurden erreicht durch den Wegfall des zweiten, die Elektromagnete erregenden Ringes, und

dadurch, dass jetzt der Draht des einen Ringes, die Umwindungen des Elektromagnets und die Flüssigkeiten der Zersetzungszelle eine einzige Leitung bilden. Statt der runden Drähte, mit welchen früher die Eisenkerne der Elektromagnete umwickelt wurden, ist hier jede Hälfte eines Elektromagnets mit einem breiten, den ganzen Umfang des eisernen Kerns umfassenden Kupferblech umgeben, so dass die ganze Kupferbewickelung der Elektromagnete nur aus 4 flachen Kupferbändern besteht.

Da es bei den für galvanoplastische Zwecke bestimmten Maschinen mehr auf die Quantität, als auf Spannung der Elektricität ankommt, so bestehen die Drahtrollen des Ringes aus einem halbflachen, sehr dicken Drahte, der stark genug ist, um der Einwirkung der Centrifugalkraft zu widerstehen, ungeachtet der 500 Touren in der Minute, welche der Ring macht, gegen 300 bei den früheren Maschinen. Weder der Ring noch die Elektromagnete erwärmen sich dabei merklich und es findet kein Funkensprühen an den Berührungsstellen der Bürsten Statt.

Das eiserne Gerüste der neuen Maschine ist sehr fest; die wenig belastete Stahlachse hat an ihren freien Enden nur einen kleinen Durchmesser, was zur Verminderung der Reibung erheblich beiträgt, und die mit den Magnetpolen sehr fest verbundenen Armaturen von weichem Eisen umfassen fast den ganzen Umfang des Ringes.

Das dynamo-elektrische Princip, den Strom des Ring-Inductors auf den Elektromagnet und diesen wieder auf die Drähte des Ringes einwirken zu lassen, ist bei diesen Maschinen vollständig durchgeführt, aber eben durch diese Einschaltung des Elektromagnets in die Gesammtleitung entsteht unter Umständen ein Stromwechsel, der dem Betriebe der Maschine sehr hinderlich ist und daher beseitigt werden muss. Es muss alsdann ein automatischer Stromunterbrecher (s. A. 14) eingeschaltet werden, der den Strom selbstthätig unterbricht

und die Elektromagnete von der Leitung trennt, wenn aus irgend einem Grunde die Stromstärke abnimmt und ein Stillstehen der Maschine und damit ein aus den Bädern kommender Gegenstrom eintreten sollte.

34. Die Gramme'schen dynamo-elektrischen Grossmaschinen für die Erzeugung des elektrischen Lichtes; die Lichtmaschinen. Es ist eine bekannte Thatsache, dass bei dem Durchgange eines galvanischen Stromes durch einen Leiter ein Theil der Elektricität sich in Wärme umsetzt und die Temperatur des Leiters erhöht wird. Diese Temperatur-Erhöhung wächst in gewissen Grenzen mit dem Widerstande, welchen der Strom auf seinem Wege erfährt, und wird unter Umständen so gross, dass der Leiter dadurch weissglühend wird. Schaltet man in den metallischen Kreislauf einer starken galvanischen Batterie zwei zugespitzte Kohlenstäbchen derart ein, dass die Enden der beiden von den Batteriepolen ausgehenden Metalldrähte je mit einem Stäbchen verbunden sind, so erhöht sich die Temperatur der Kohlenspitzen bis zum Glühen; entfernt man sie dann nur sehr wenig von einander, so wird der Strom nicht unterbrochen, sondern es bildet sich zwischen den Kohlenspitzen eine Brücke von glühenden Kohlentheilchen, welche vorzugsweise von der positiven Elektrode zur negativen übergeführt werden; auf dieser zwischen den Kohlenstäbchen in der Luft sich bildenden Flamme von leitender Substanz kann der Strom in bedeutender Stärke so lange fortbestehen, als der Luftraum zwischen den Kohlenspitzen nicht gar zu gross ist.

Wegen des enormen Widerstandes, den der Strom auf der genannten, mit glühenden und von einander getrennten Kohlenstäbchen angefüllten Luftstrecke erfährt, setzt sich eine sehr bedeutende Elektricitätsmenge in Wärme um, so dass die Luft und die Kohlentheilchen weissglühend werden und letztere ein blendendes Licht, das elektrische Licht, ausstrahlen. Man nennt diese Garbe weissen Lichtes den

elektrischen oder *Volta*'schen Flammenbogen, und wir kommen auf die Eigenschaften desselben später in dem Abschnitte VII nochmals zurück.

Die Stärke des elektrischen Lichtes hängt bei denselben Kohlenstäbchen von der Strecke ab, auf welche man die Elektroden von einander entfernen kann, ohne dass das Licht erlöscht. Um also ein sehr intensives Licht zu erzeugen, muss der Flammenbogen möglichst gross sein; dadurch wächst aber der Widerstand in der Leitung so bedeutend, dass es nur den Strömen von sehr hoher Spannung gelingt, denselben zu überwinden.

Man sieht hieraus, dass es verkehrt war, wie es früher öfter versucht worden ist, zur Erzeugung des elektrischen Lichtes Batterien oder magnet-elektrische Rotationsapparate von grosser Quantität aber von verhältnissmässig kleiner Spannung anzuwenden; auch die *Gramme*'schen Maschinen müssen aus diesem Grunde eine verschiedene Construction erhalten, je nachdem sie zu galvanoplastischen Arbeiten oder zur Erzeugung des elektrischen Lichtes dienen sollen.

Nach dem *Ohm*'schen Gesetze ist bei einem gegebenen stromerzeugenden Apparate die Stromstärke am grössten, wenn der äussere Widerstand in der Leitung gleich dem innern Widerstande im Apparate ist. Zur Entwickelung eines intensiven Lichtes muss daher der Widerstand in dem *Gramme*'schen Ringe sehr bedeutend sein, das heisst, der Draht, mit welchem der Eisenkern umwickelt wird, muss viel dünner sein, als es bei den vorhin beschriebenen Maschinen der Fall ist, und aus diesem dünnen Drahte müssen dann möglichst viele Umwindungen gemacht werden. Ausserdem muss die Geschwindigkeit der Drehung beträchtlich erhöht werden, um in der Zeiteinheit möglichst viel mechanische Arbeit in Elektricität und diese wieder in Wärme des Flammenbogens umzusetzen.

Die erste von *Gramme* gebaute Lichtmaschine gab ein

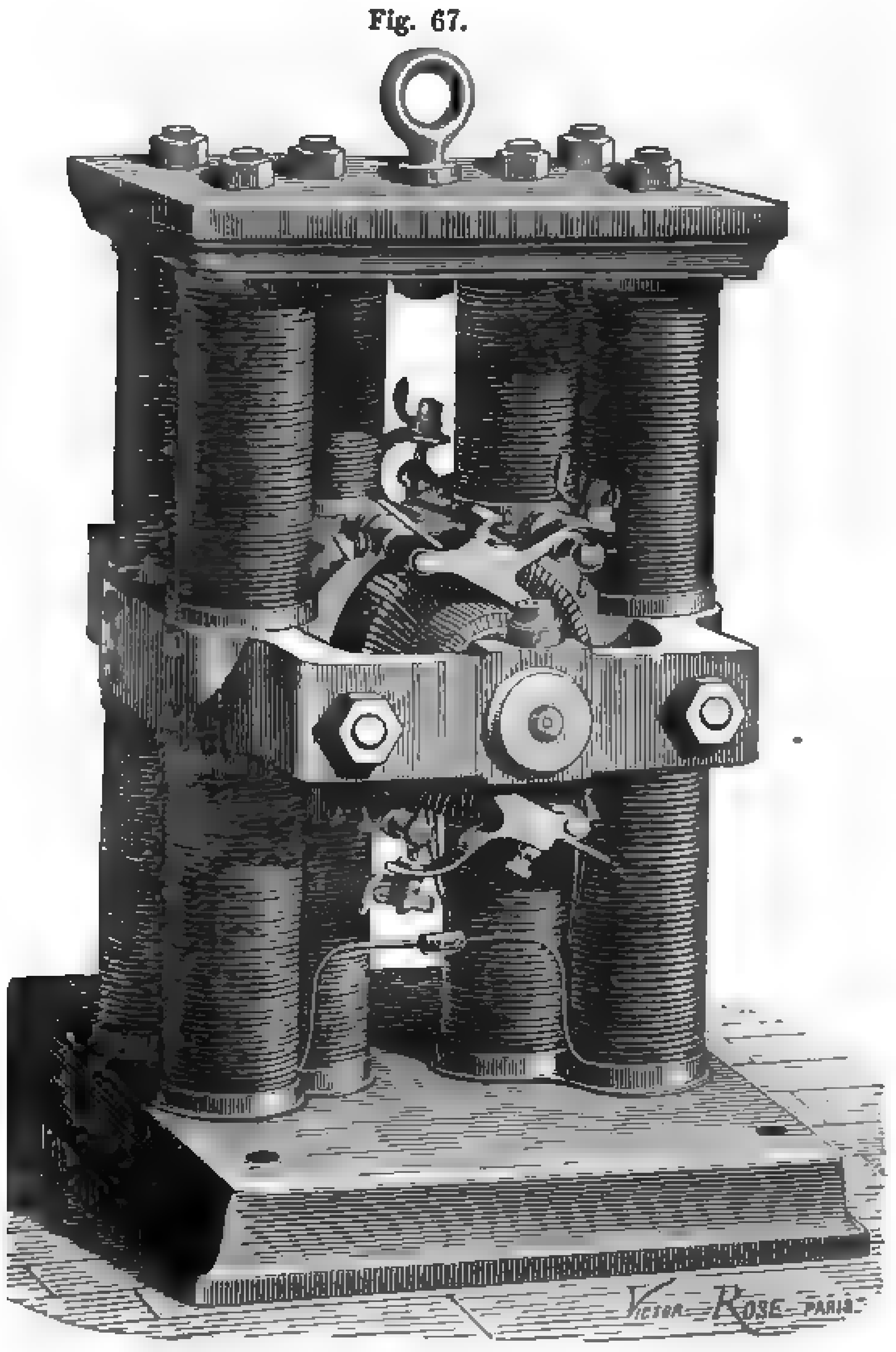
Licht von 900 Carcel-Brennern; sie wog 1000kg, hatte drei rotirende Ringe und sechs Elektromagnete. Der Strom des einen Ringes diente zur Erregung der Elektromagnete, die beiden anderen Ringe lieferten den nutzbaren Strom für das Licht. Der Kupferdraht der Elektromagnete wog 250kg, der Draht der drei Ringe 75kg; zur Aufstellung der Maschine war ein Platz von 0,80m in Länge und Breite und von 1,25m in der Höhe erforderlich. Sie hat längere Zeit zu Versuchen auf dem Thurme von Westminster in London gedient und arbeitet noch heute ganz gut, obgleich sie sich während des Betriebes ein wenig erwärmt und ein leichtes Funkensprühen zwischen den ableitenden Drahtbürsten und den rotirenden Strahlstücken des Ringes zeigt.

Da von verschiedenen Seiten keine grössere Lichtstärke als 500 Carcel-Brenner verlangt wurde, konnte *Gramme* die Dimensionen der neuen Maschine etwas verringern und damit zugleich die Erwärmung des Ringes und die Funkenbildung beseitigen. Eine derartige Maschine ist in Figur 67 abgebildet. Dieselbe hat immer noch sechs aufrecht stehende Elektromagnete, die aber nicht in zwei geraden Linien, sondern im Dreiecke aufgestellt sind; dagegen sind nur zwei Ringe vorhanden, die je nach Bedürfniss gestatten, den ganzen Strom durch die Elektromagnete zu senden, oder den einen Ring zur Erregung der Elektromagnete und den andern zur Erzeugung des Arbeitsstromes für das elektrische Licht zu verwenden, oder auch zwei ganz getrennte Lichter zu erzeugen.

In dieser Construction wiegt die Maschine 700kg; die Drähte der Elektromagnete wiegen 180kg, die der beiden Ringe 40kg; sie ist 0,65m lang und breit, 0,90m hoch und gibt eine normale Lichtstärke von 550 Carcel-Brennern, welche jedoch versuchsweise durch Erhöhung der Rotationsgeschwindigkeit auf das Doppelte gebracht worden ist. Benutzt man jeden Ring zur Herstellung eines besondern

htes, so erhält man zwei Lichter von je 150 Carcel-
nnern.

Fig. 67.



Gramme's grosse Lichtmaschine mit zwei Ringen.

Die Maschinen befinden sich auf Schiffen der franzö-
hen und russischen Marine und werden in anderen Staaten

für den Festungsdienst verwendet. Bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 400 Touren in der Minute findet weder eine nachtheilige Erwärmung noch ein Funkensprühen statt; das Licht hat jedoch nicht Kraft genug, um bei nebeligem Wetter die Luft auf eine hinreichend grosse Entfernung zu durchdringen.

Auch diesem Uebelstande wusste *Gramme* zu begegnen; nach einem sorgfältigen Studium aller einschlägigen Verhältnisse und auf Grund seiner zahlreichen Erfahrungen baute er seine neuen Lichtmaschinen nach einem anderen Modell, bei welchem, ähnlich wie in Fig. 68, das Gerüst aus zwei gusseisernen, durch vier starke schmiedeeiserne Quercylinder mit einander verbundenen Seitenständern besteht. Diese letzteren bilden die Kerne von vier Elektromagneten, welche wieder mit kreisförmig ausgeschnittenen Armaturen versehen sind und mit diesen verlängerten Polschuhen den rotirenden Ring fast ganz umschliessen.

Auf den eisernen Kern des Ringes ist nicht, wie in den vorhin beschriebenen Maschinen, bloss ein Draht in mehreren Spulen aufgewickelt, sondern das System der den Kern umgebenden 120 Drahtspulen besteht aus einem Doppeldrahte von gleicher Länge. Die beiden Drähte jeder Spule werden in parallelen Lagen auf den Kern gewickelt, gehen jedoch zu den beiden entgegengesetzten Seiten des Ringes in die bekannten Strahlstücke über, so dass von den 120 einzelnen Spulen die Hälfte auf der vorderen, die andere Hälfte auf der hinteren Seite des Ringes in die entsprechenden Strahlstücke übergeht. Dem entsprechend befinden sich auch auf jeder Ringseite ein Paar ableitender Drahtbürsten, deren im Ganzen also vier vorhanden sind.

Die Elektromagnete sind mit ihren Umwindungen in der von dem Ringe herkommenden Stromleitung eingeschlossen; in der Maschine ist also das Princip der dynamo-elektrischen Stromvertheilung vollständig durchgeführt.

Die Maschine ist einschliesslich der Riemenscheibe 0,8 m lang, 0,550 m breit und 0,585 m hoch; sie wiegt 400 kg; der Ring hat einen äussern Durchmesser von 0,230 m und trägt 14 kg Kupferdraht. Die eisernen Kerne der Elektromagnete haben einen Durchmesser von 0,07 m und eine Länge von 0,404 m; der darauf aufgewickelte Draht wiegt 96 kg.

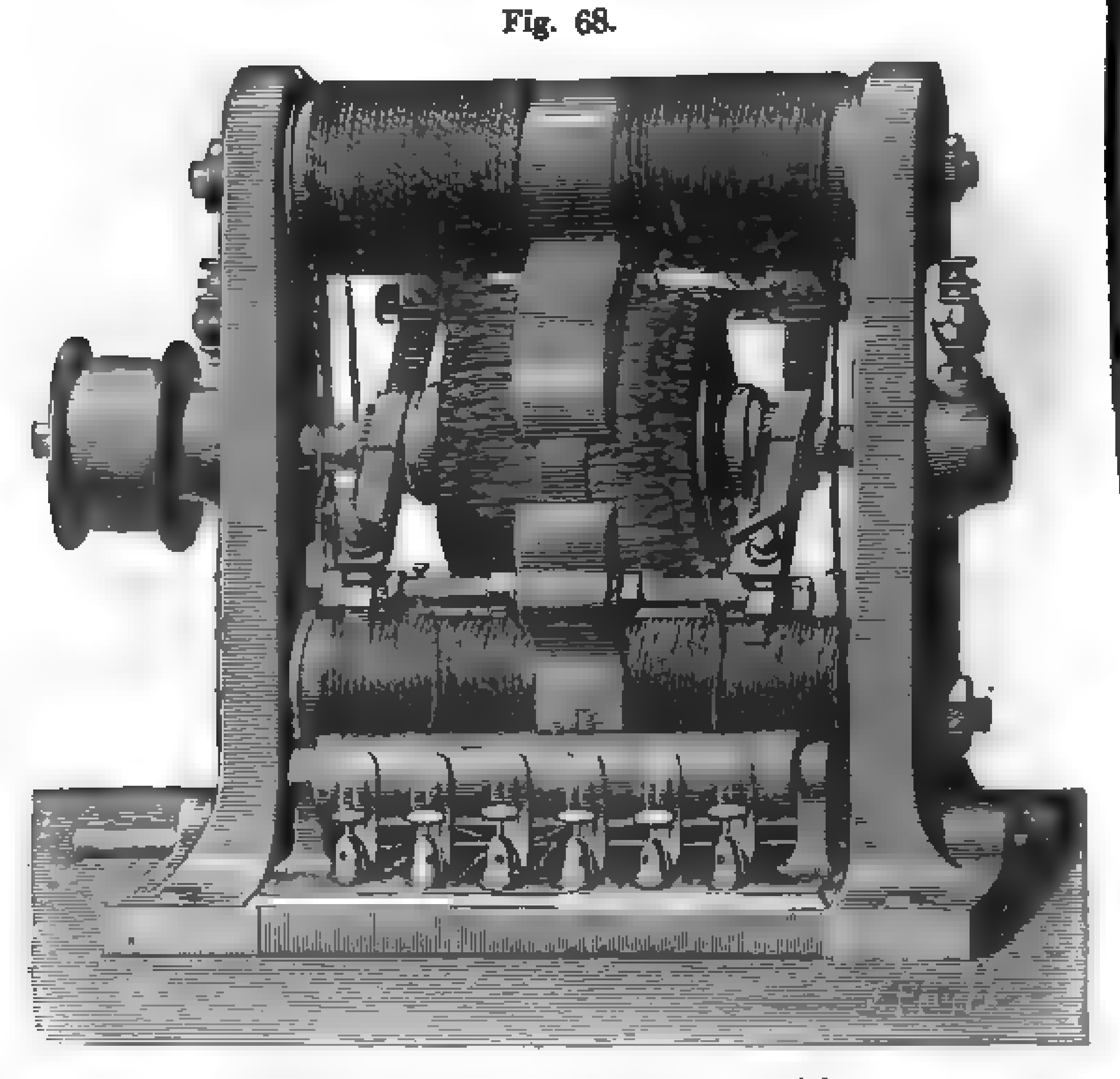
Bei der eigenthümlichen Art, wie der Draht auf den Ring gewickelt ist, verhält sich letzterer wie ein Doppelring mit zwei vollständig von einander isolirten und zu beiden Seiten des Ringes befindlichen Spulen; beide Spulsysteme lassen sich durch eine einfache Schaltung auf Quantität (nebeneinander) oder auf Intensität (hintereinander) kuppeln. Im letztern Falle geben sie bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 700 Touren in der Minute eine Lichtstärke von 800 Carcel-Brennern; auf Quantität gekuppelt steigt die Lichtstärke bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 1350 Touren in der Minute auf 2000 Carcel-Brenner.

Dieses Modell wurde von den französischen, österreichischen, russischen, norwegischen, türkischen u. a. Regierungen adoptirt und überall als zweckmässig anerkannt. In neuester Zeit sind nach einem ähnlichen, noch vortheilhaftern Modell Maschinen gebaut worden, welche die enorme Lichtstärke von 5000 Carcel-Brennern oder von 35 000 Normal-Parafinkerzen geben.

Auch diese Construction hat *Gramme* dadurch vereinfacht und in kleineren Dimensionen ausgeführt, dass er nur zwei Elektromagnete anwandte, dagegen den Doppelring mit zweiseitiger Ableitung der Ströme durch zwei Paar Bürsten beibehielt. Die Figur 68 zeigt eine solche Maschine von 183 kg Totalgewicht; der Kupferdraht für die Elektromagnete und den Ring zusammen wiegt nur 47 kg; ihre Länge und Breite ist 0,53 m, die Höhe 0,60 m. Bei normalem Betriebe liefert sie ein Licht von 200 Carcel-Brennern; sie kann jedoch auf kurze Zeit weit darüber hinaus gehen. Auch

bei dieser Construction kann man vermittelst eines am Fussgestelle angebrachten Umschalters die beiden Hälften der Maschine nach Belieben auf Quantität oder auf Spannung kuppeln; auch lassen sich die beiden Hälften zur Erzeugung

Fig. 68.



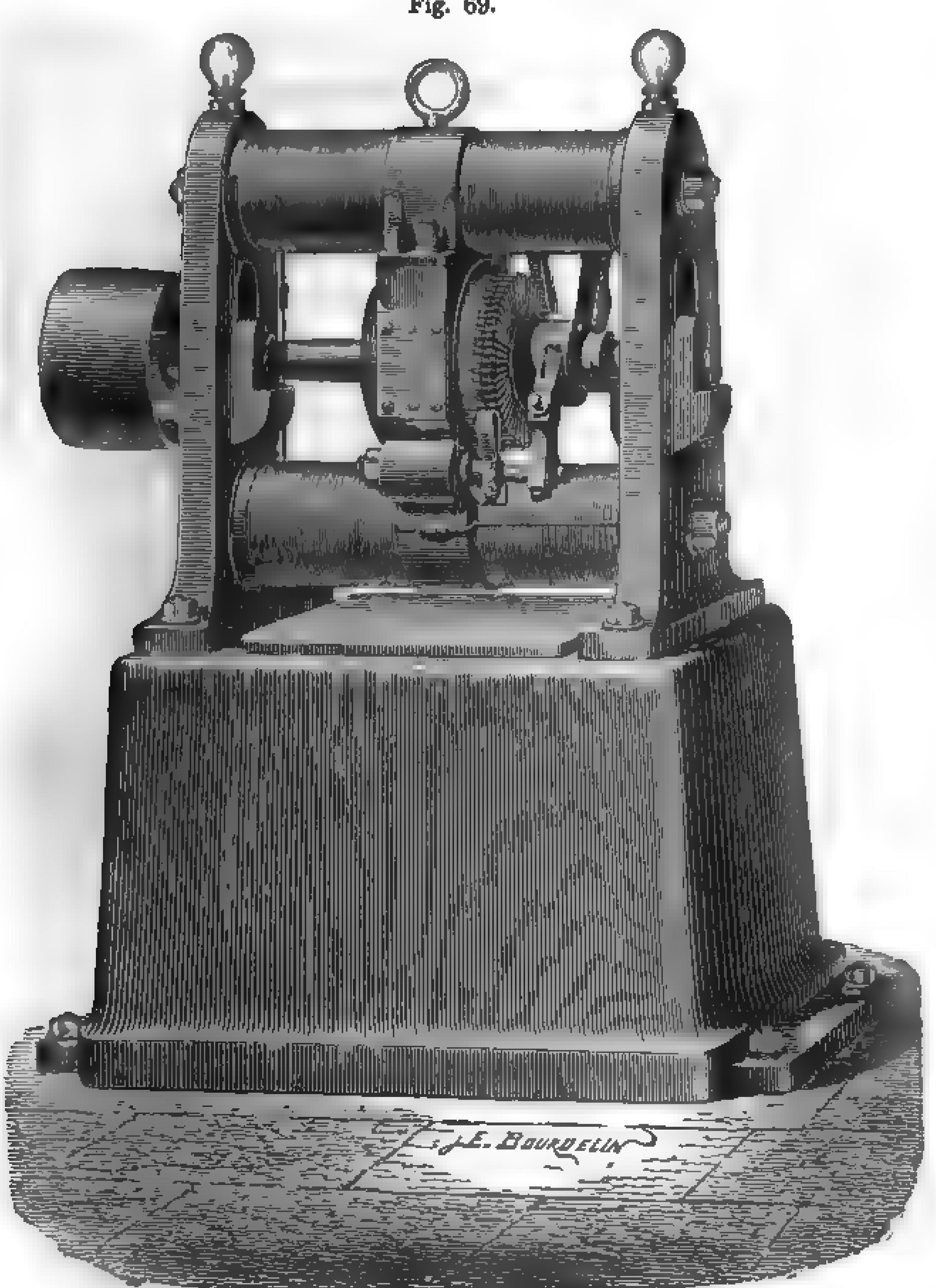
Gramme'sche Lichtmaschine mit Doppelring.

zweier völlig von einander unabhängiger elektrischer Lichter verwenden.

Die höchste Vereinfachung erhält die *Gramme*'sche Maschine, wenn man ihr nur zwei Elektromagnete und einen Ring gibt, wie es für viele industrielle Zwecke sowohl der Galvanoplastik als auch der Beleuchtung von grossen Fabriksräumen, offenen Hallen, Arbeitsplätzen u. s. w. hinreicht. Die Figur 69 zeigt eine solche Maschine; sie wiegt nur 180kg bei einer Höhe von 0,60m, einer Breite von 0,35m

und einer Länge (einschliesslich der Riemenscheibe) von

Fig. 69.



Einfachste Gramme'sche Lichtmaschine (type normal).

0,65m. Der Sockel wiegt 120kg bei einer Höhe von 0,40m; die Elektromagnete enthalten 28kg, der Ring nur 4,5kg Kupferdraht.

Ungeachtet dieses geringen Quantums von Kupferdraht und bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit, die 900 Touren in der Minute nicht überschreitet, gibt die Maschine, wenn das Licht unter einem bestimmten Winkel einfällt, ohne einen Schirm oder einen Reflector anzuwenden, eine Lichtstärke von 1440 Carcel-Brennern, wobei die Kohlenspitzen genau einander gegenüberstehen. Wir werden später sehen, dass bei etwas schräg gestellten Kohlenspitzen die verwendbare Lichtstärke noch grösser ist.

Jüngst hat *Gramme* neue Modelle seiner Maschinen geschaffen, welche zur Speisung mehrerer Lampen mit *Volta*'schem Lichtbogen in einem Stromkreise dienen. Im Allgemeinen ist ihre Anordnung derjenigen der in Figur 69 abgebildeten Maschine gleich; nur ergibt sich aus den Bedingungen für den maximalen Nutzeffect:[1] „der innere Widerstand sei gleich dem äusseren Widerstande", „die elektromotorische Kraft der Maschine sei gleich dem Doppelten einer elektromotorischen Gegenkraft", eine andere Wicklung des Inductors. Die Elektromagnete werden in diesem Falle durch besondere dynamo-elektrische Maschinen erregt, wodurch, wie in Abth. 12 näher erörtert wird, besondere Vortheile erwachsen. *Gramme* stellte auf der Pariser Ausstellung im Jahre 1881 Maschinen für 5, 10 und 20 Lampen aus; insbesondere hat die Maschine für 5 Lampen ein elegantes und dabei solides Aeussere und bei ihr beträgt die Lichtstärke einer jeden Lampe 150 Carcel-Brenner, während die Unkosten für Kohlen pro Stunde und Lampe 0,15 Fr. betragen. Nach Belieben kann die Maschine 1, 2, 3, 4 oder 5 Lampen speisen; es

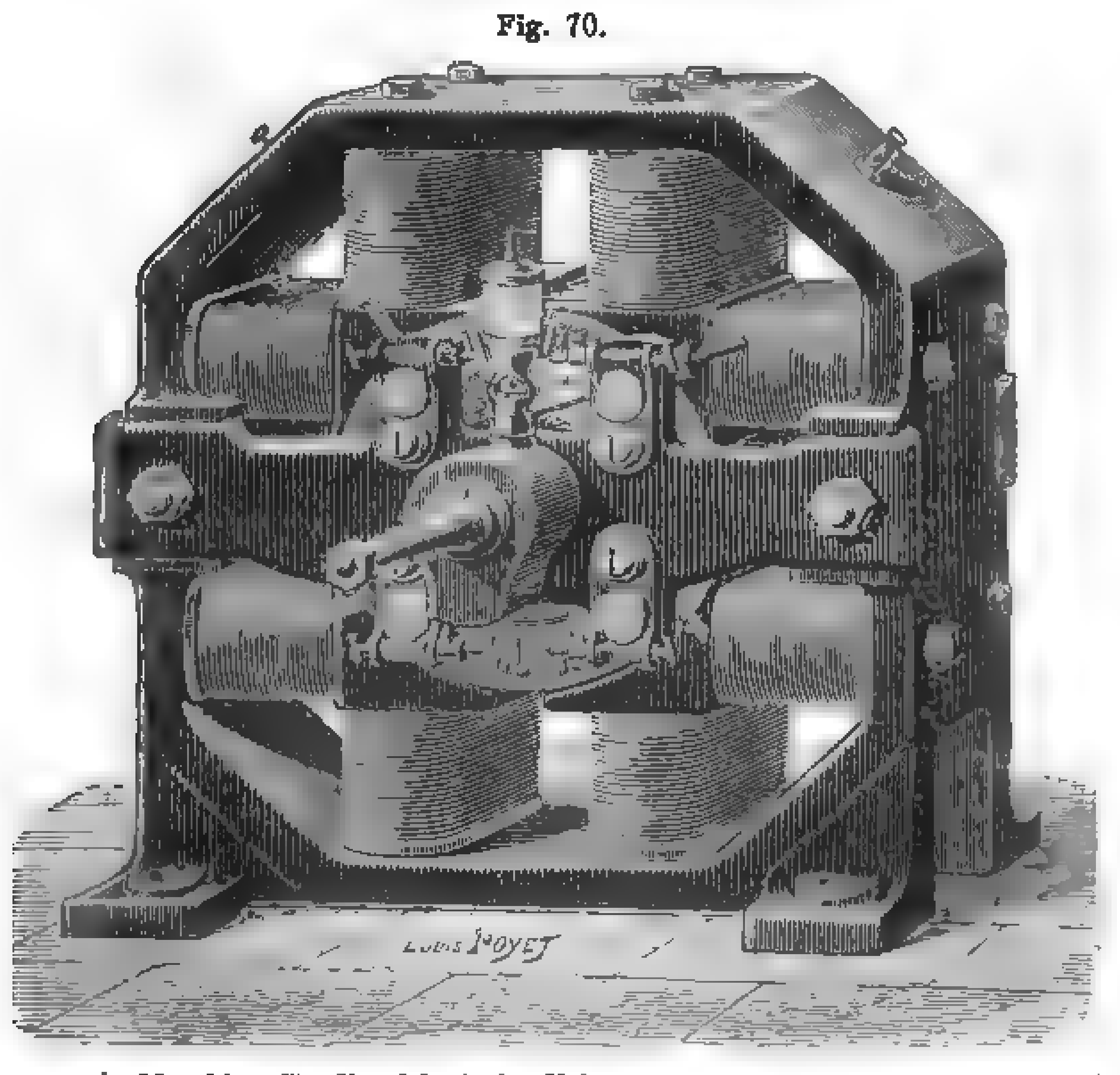
[1]) Siehe die siebente und letzte Abtheilung.

genügt dazu, die Tourenzahl der Maschine und gleichzeitig den Widerstand des äusseren Stromkreises in entsprechender Weise abzuändern.

Ganz besondere Arten von dynamo-elektrischen Maschinen, welche eine grosse Bedeutung und Verwendung finden werden, sind

35. Die Maschinen für elektrische Kraftübertragung. Die von *Gramme* verfertigten werden durch Figur 70 dargestellt.

Fig. 70.

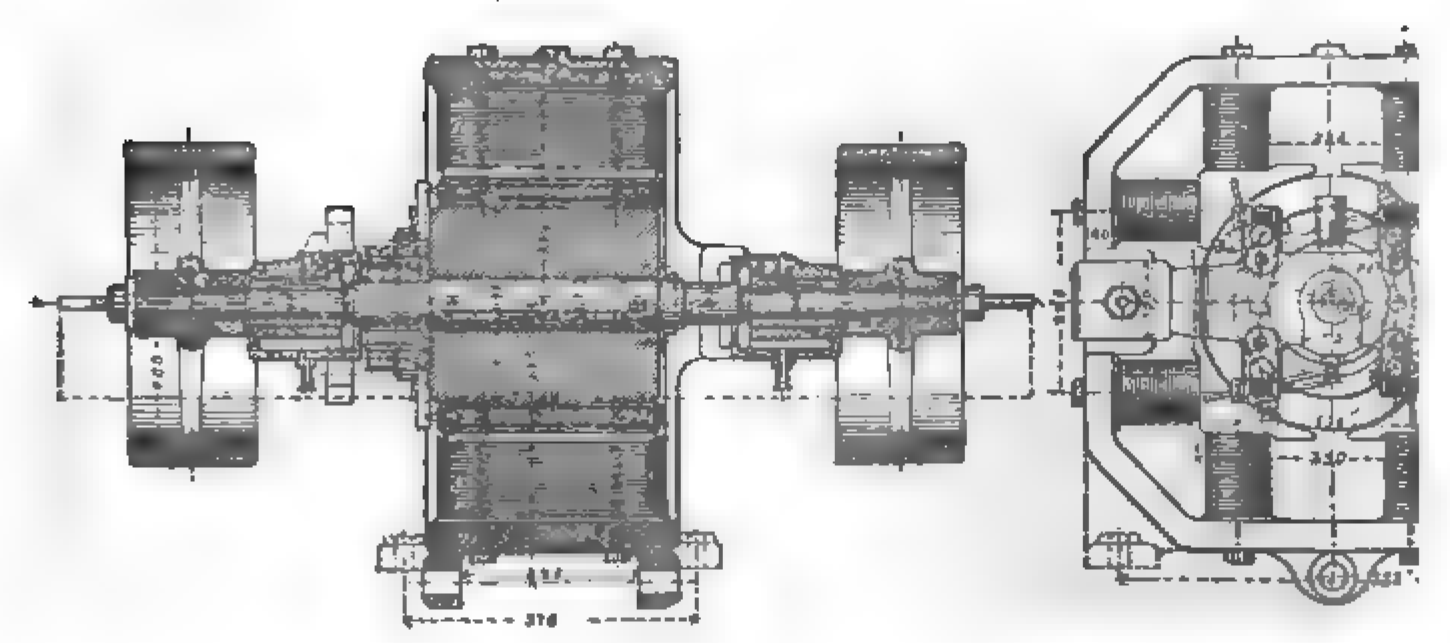


-amme's Maschine für die elektrische Uebertragung der Kraft. (M. octogonale.)

Einen noch deutlicheren Einblick in die Construction derselben gewinnen wir durch die Fig. 71 und 72, von denen Fig. 71 die Maschine im Längsschnitt und Fig. 72 von der Seite gesehen darstellt. Das aus einem einzigen Stücke

gegossene Gerüst umhüllt die wesentlichen Theile, wodurch die Maschine sehr solid und vor Beschädigungen geschützt ist. Aus Fig. 72 ersieht man, wie vier Gruppen Elektromagnete radial zum Ringe stehen und mit Armaturen versehen sind, welche die äussere Oberfläche des Ringes beinahe vollständig umfassen. Die vier Pole derselben sind abwechselnd entgegengesetzte und erzeugen in dem Ringe selbst

Fig. 71. Fig. 72.

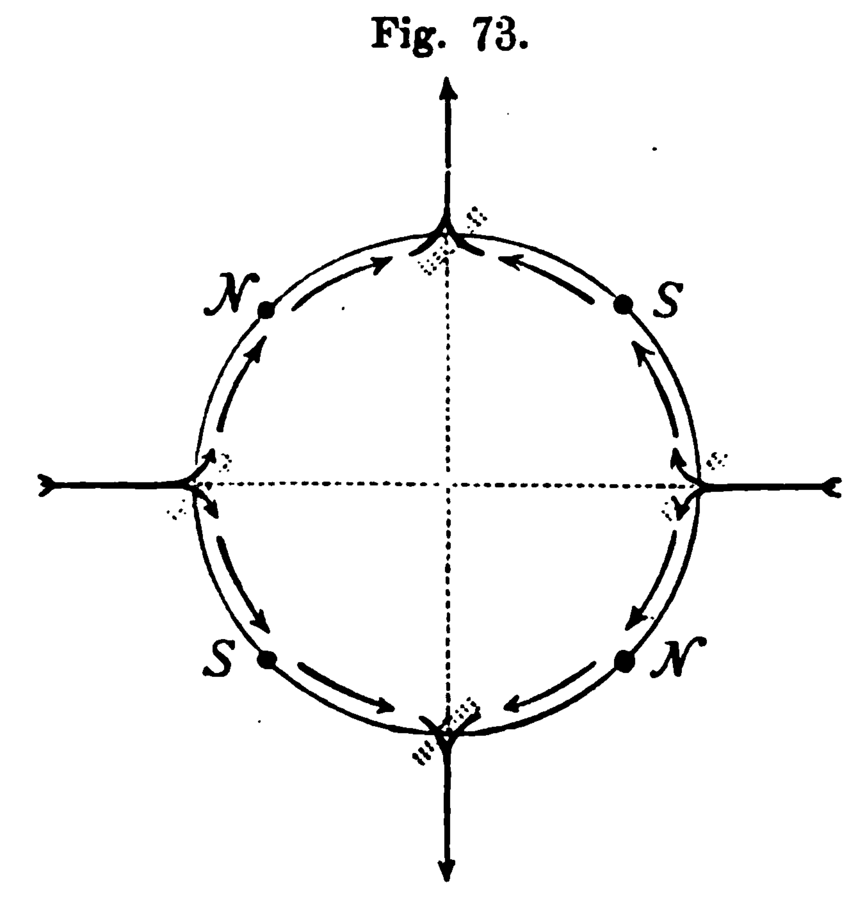


Gramme's Maschine für elektrische Kraftübertragung.

vier Pole, welche ungeachtet der Bewegung des Ringes immer den Inductionspolen gegenüber bleiben. Durch die gleichzeitige Wirkung der Inductionspole und der inducirten Pole (s. §. 10) entwickeln sich in den Kupferspiralen des Ringes elektrische Ströme (s. Fig. 73) von solcher Richtung, dass zwei derselben von den oben und unten anliegenden Bürsten ausgehen, den gegebenen äusseren Widerstand durchlaufen und schliesslich in die links und rechts liegenden Pinsel zurückströmen. Die Dimensionen der Maschine ergeben sich aus den Figuren 71 und 72; weitere Details über die Anwendung derselben werden in der Abth. 15, welche über die elektrische Uebertragung der Kraft handelt, mitgetheilt werden.

36. Die Mängel der Gramme'schen Maschine. Bei allen Vorzügen, welche die beschriebenen *Gramme*'schen Ringmaschinen besitzen und durch die sie sich vor den älteren mit einem Commutator behafteten Maschinen auszeichnen, leiden dieselben doch an gewissen Mängeln, die in der Construction ihres wesentlichsten Organs, des Ringes, ihren

Fig. 73.



Kreislauf der Ströme im Gramme'schen Ringe der Maschine „octogonale".

Grund haben. Diese Unvollkommenheiten bestehen hauptsächlich in der verhältnissmässsig geringen Ausnutzung des den Ring bildenden Kupferdrahtes und in der Erwärmung des Ringes und der Elektromagnete.

Aus dem, was wir über die inducirende Wirkung der äusseren festen Magnetpole auf die unter ihnen wegrotirenden Drahtspulen gesagt haben, folgt, dass diese Wirkung fast ausschliesslich auf die eine (äussere) Seite der Drahtbewicklung stattfindet, da nur diese in den wirksamen Theil des magnetischen Feldes der festen Pole gebracht wird, die andere (innere) Seite aber so wie die Seitentheile der Drahtspulen während der Rotation des Ringes von diesen äusseren Magnetpolen fast ganz unbeeinflusst bleiben. Aehnliches gilt auch von der Einwirkung der beiden in dem Eisenringe

durch Influenz sich bildenden Magnetpole auf die Drahtspirale, insofern dieselben offenbar nicht in der Mitte der Eisenmasse, sondern aus dieser Mitte heraus- und den äusseren festen Polen näher gerückt, ja vielleicht dem äusseren Umfange der Ringmasse sehr nahe liegen.

Dadurch kommt es, dass bei der Ringform des Inductors und der Art seiner Drahtbewicklung nur der kleinere Theil der Windungen einer Spule, welcher jedesmal zwischen einem äussern Pole und dem Ringkerne liegt, der Induction ausgesetzt ist, der übrige Theil des Drahtes aber fast ganz ohne Wirkung bleibt.

Die Erwärmung der Maschine rührt aus verschiedenen Ursachen her. Zunächst erzeugt jeder Strom, der durch einen Leiter fliesst, dadurch, dass er den molekularen Widerstand der leitenden Substanz überwinden muss, in dem Leiter eine Erwärmung, indem sich ein Theil derjenigen Molekülbewegung, welche den Strom bildet, in diejenige Form der Molekülbewegung umsetzt, welche wir Wärme nennen. Es ist bekannt, dass dünne Platin- und Eisendrähte, welche in den Schliessungsdraht eines starken Stromes eingeschaltet werden, sich bis zum Weissglühen erhitzen, und der die höchste Hitze liefernde *Volta*'sche Flammenbogen, welcher unter der Einwirkung einer sehr kräftigen galvanischen Batterie zwischen zwei Kohlenspitzen entsteht, wird ebenfalls nur durch den molekularen Widerstand erzeugt, welchen die schlecht leitende Luft dem Durchgange des Stromes entgegensetzt. In der *Gramme*'schen Maschine müssen daher, wie in jedem Schliessungsdrahte, die sämmtlichen Drähte, durch welche der Strom fliesst, um so stärker sich erwärmen, je stärker der durch die Rotation des Ringes erzeugte Strom ist. Diese Temperatur-Erhöhung wird jedoch in dem *Gramme*'schen Ringe noch dadurch gesteigert, dass in einem grossen Theile der Drähte gar kein Strom erzeugt wird und die den magnetischen Indifferenzstellen nahe liegenden Spulen nur

sehr schwache Ströme erhalten. Der von der Summe aller Partialströme zu überwindende Drahtwiderstand und in Folge hiervon auch die Erwärmung der Drähte ist daher nicht verschwindend klein.

Eine andere Quelle fortwährender Wärme-Erzeugung liegt darin, dass durch die ununterbrochene Verschiebung der beiden im Ringkerne inducirten Magnetpole von einem Eisenstücke auf ein anderes während der Arbeit der Maschine unausgesetzt die Eisenmoleküle des Ringes in Bewegung erhalten werden und ein Theil dieser Molekular-Arbeit sich als Magnetismus, ein anderer Theil aber sich als Wärme darstellt. Ausserdem aber wird bei jeder Umdrehung des Ringes jede Stelle desselben einmal nordmagnetisch und gleich darauf südmagnetisch, was wieder nur unter Wirkung der von aussen in die Maschine hineinkommenden Arbeit und einer Umsetzung derselben in Molekülbewegung, d. h. unter Erzeugung von Wärme vor sich gehen kann. Macht der Ring in der Minute 1000 Umläufe, so muss dieser Polwechsel in $\frac{1}{2000}$ Minute erfolgen; diese Zeit ist aber zu kurz, als dass der vorhandene Magnetismus weichen und dem entgegengesetzten Platz machen könnte; die Folge hiervon aber ist die, dass ein Theil der vorhandenen magnetischen Molekularbewegung mit der neu und entgegengesetzt sich entwickelnden in Conflict geräth und nicht bloss eine schädliche Schwächung der zu bildenden Pole, sondern auch eine erhöhte Molekularbewegung in der Form von Wärme entsteht. Es geschieht hier ganz dasselbe, was bei den magnetelektrischen Rotationsmaschinen eintritt, wenn man die gegenseitige Anziehung der festen Magnetpole und der eisernen Kerne der Inductorrollen durch eine äussere Arbeit überwinden muss, um die Rotation der letzteren zu Stande zu bringen.

Gramme sucht den zuletzt genannten Uebelstand, dass der Magnetismus im weichen Eisen nicht plötzlich ver-

schwindet, sondern zu seinem Verschwinden und seinem Umsetzen in die entgegengesetzte Polarität einer gewissen Zeit bedarf, dadurch zu beseitigen, dass er den Eisenkern des Ringes nicht massiv macht, sondern ihn aus einzelnen gut ausgeglühten Eisendrähten zusammensetzt (Fig. 60); es wird dadurch die Trägheit des Magnetismus allerdings verkleinert, aber nicht ganz aufgehoben.

Rechnet man zu diesen Ursachen der Erwärmung noch die Umsetzung derjenigen Ströme in Wärme hinzu, welche in metallischen Leitern überall da entstehen, wo diese sich in einem magnetischen Felde bewegen (*Foucault*'sche Ströme; Erhitzung einer Kupferplatte, welche im magnetischen Felde rotirt u. s. w.), so ist leicht begreiflich, dass bei den grossen Maschinen, welche viele Drahtwindungen enthalten und deren Elektromagnete unter der Einwirkung des dynamo-elektrischen Princips eine sehr bedeutende Kraft erlangen, in Folge der sehr grossen Umdrehungsgeschwindigkeit des Ringes sich die Spuldrähte bis zum Glühen und zum Verkohlen der isolirenden Umhüllung und der Zwischenschichten erhitzen können.

In dieser Temperatur-Erhöhung liegt bei allen magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen die Grenze für die Dimensionen, welche man denselben geben kann. Bestände diese Schranke nicht, könnte man alle mechanische Arbeit, welche zum Umtriebe der Rotationsachse von aussen in die Maschine hineingebracht wird, ausschliesslich in Magnetismus und in Elektricität umsetzen, so könnte man diese Classe von Maschinen in den grössten Dimensionen ausführen und würde dann in denselben eine unerschöpfliche Quelle von Magnetismus und elektrischer Strömung in einer Stärke besitzen, von welcher wir gegenwärtig nur eine sehr beschränkte Ahnung haben.

Die Erkenntniss dieser Mängel, welche der *Gramme*'schen Maschine, aber mehr oder weniger auch den übrigen magnet-

und dynamo-elektrischen Maschinen anhangen, hat bereits in mehrfacher Beziehung zu ihrer Beseitigung geführt. *Gramme* selbst arbeitete mit unermüdlichem Eifer an der Vervollkommnung seiner Maschinen; dass seine Bemühungen von Erfolg begleitet sind, geht insbesondere aus dem Berichte der Militär-Ingenieur-Schule in Chatham hervor, welche in folgender Weise die Vorzüge und Nachtheile der neueren *Gramme*'schen Maschinen zusammenstellt.

„*Gramme*, Modell *D*.

Vorzüge:

1. Dieser Stromerzeuger gibt ein bedeutend kräftigeres Licht als jede andere der versuchten Maschinen.

2. Die Bedienung der Maschine kann auch weniger geübten Leuten anvertraut werden, ohne befürchten zu müssen, dass die Drähte durch Erwärmung oder Funkenbildung leiden.

3. Bei einem sechsstündigen continuirlichen Betrieb unter denselben Bedingungen, wie bei den zwei *Siemens*-Maschinen neben einander eingeschaltet, und mit einem Strome von 58,5 *Weber*[1]) stieg die Temperatur der Drähte nur um 71° *F.* Unter den gleichen Bedingungen stieg die Temperatur der Trommel der *Siemens*'schen Maschinen um 110° *F.* und der Elektromagnete um 85° *F.* bei einer Stromstärke von 55 *Weber*. Die Elektromagnete der *Gramme*'schen Maschine erwärmen sich stärker als der rotirende Ring, so dass man die Maximal-Erhöhung der Temperatur beobachten kann, ohne die Maschine anhalten zu müssen.

4. Fehlen der Funken. Die Funkenbildung an den Bürsten ist ausserordentlich schwach und oft unbemerkbar; es ist in Folge dessen die Abnutzung des Stromsammlers und der Bürsten ausserordentlich gering. Die Bürsten sind leicht in ihre richtige Lage zu bringen und sind dabei so angeordnet, dass man sie, wenn dies erforderlich erscheint, in der Längenrichtung des Stromsammlers verschieben kann.

5. Einfachheit. Da die Maschine nur eintheilig, so sind die Verbindungen sehr einfach und leicht zu verfolgen.

6. Es wurde im Lichtbogen eine Nutzarbeit von 47,8 % mit einem Stromkreise von 0,498 *Ohms* äusserem Widerstand geleistet.

---

[1]) Bei einer Stromstärke von 83,6 *Weber* trat in sechsstündigem Betrieb eine Temperatur-Erhöhung von 110° ein.

7. Die Tourenzahl (500) ist geringer als die der zwei mittleren *Siemens* und weniger als halb so gross, wie die der *Gramme, C* (1200); es ist in Folge dessen auch die Abnutzung der Maschine und der bewegten Theile geringer.

Nachtheile:

Der Kostenpreis einer *Gramme*'schen Maschine, Modell *D,* ist 360 Pfund Sterl., also ungefähr 1½ mal so gross, als der der zwei *Siemens*-Stromerzeuger.

Gramme, Modell *C.*

Vorzüge:

1. Die Maschine kann durch nur wenig geübte Arbeiter bedient werden, ohne eine Beschädigung der Drähte durch Ueberhitzung befürchten zu müssen. In dieser Hinsicht übertrifft dieser Stromerzeuger alle übrigen versuchten Apparate.

2. Bei einem continuirlichen Betriebe von sechs Stunden unter denselben Bedingungen wie bei den zwei *Siemens* und *Gramme,* Modell *D,* und mit einer Stromstärke von etwa 83,15 *Weber* erhob sich die Temperatur der Drähte nur um 30° *F.*

3. Fehlen der Funken, siehe Vorzüge 4 von *Gramme, D.*

4. Mit einem Stromkreise von 0,627 *Ohms* äusserem Widerstand wurde eine Nutzarbeit von 54,48 % erzielt.

5. Einfachheit, siehe Vorzug 5 von *Gramme, D.*

6. Compactheit, siehe Vorzug 7 von *Gramme, D.*

Der Preis dieser Maschine von 240 Pfund Sterl. ist nahezu derselbe als der zweier *Siemens* mittlerer Grösse mit Collector. Der Strom kann, wenn nothwendig, zur Herstellung zweier Lichter mit einer *Blandy*-Rolle getheilt werden.

Nachtheile:

1. Die erzielte Lichtstärke ist nur 19 500 Kerzen, ungefähr so gross wie die der zwei *Siemens,* und etwa 30 % kleiner wie die der *Gramme, D,* bei 500 Touren.

2. Die grosse Geschwindigkeit von 1200 Touren pro Minute dürfte zu beträchtlicher Abnutzung der Maschine und bewegten Theile Veranlassung geben.

Zwei *A Gramme,* neben einander geschaltet.

Vorzüge:

1. Billigkeit. Der Preis der zwei Stromerzeuger mit Collector ist nur 170 Pfund Sterl.

2. Diese Stromerzeuger haben ziemlich dieselbe geringe Erwärmung wie die übrigen *Gramme.*

3. Fehlen der Funken, siehe Vorzug 4 von *Gramme, D.*

4. Bei Benutzung der einzelnen Stromerzeuger können zwei Lichter hergestellt werden.

Nachtheile:

1. Die von diesen Stromerzeugern gelieferte Lichtmenge, welche nur 18 500 Kerzen beträgt, ist für die militärischen Bedürfnisse nicht ausreichend.

2. Wenn die Stromerzeuger neben einander eingeschaltet sind, so tritt leicht eine Umkehrung des Magnetismus ein, und werden dadurch grosse Störungen und Zeitverluste verursacht." [1])

Den im vorigen Paragraphen erwähnten Nachtheil, dass die Pole der Elektromagnete nur auf die äusseren Drahtwindungen des Ringes inducirend wirken, während die übrigen Theile desselben beinahe ganz unbeeinflusst bleiben und dadurch nur den Widerstand der Stromleitung erhöhen, vermeidet *Fein* in Stuttgart[2]) durch die in Nachstehendem beschriebene Construction, bei welcher der Ring in der Weise auf der Drehachse befestigt wird, dass bei gleichzeitigem Anbringen von entsprechend geformten Armaturen beinahe die ganze Länge der Drahtwindungen der Wirkung der Magnete ausgesetzt ist. Die Fig. 74 zeigt den Durchschnitt, Fig. 75 die Seitenansicht der

37. Dynamo-elektrischen Maschine von Fein.[3]) Der aus einer grösseren Anzahl ganz dünner, von einander isolirter Eisenscheiben hergestellte, mit den Drahtwindungen versehene cylinderförmige Ring *RR* ist mittelst Schrauben und Muttern an dem Messingsterne *SS* befestigt, welcher, mit einer Büchse versehen, auf der Achse *aa* festgekeilt ist und durch die Riemscheibe *J* in Umdrehung versetzt wird. Die Enden der einzelnen Drahtspiralen gehen theils durch iso-

---

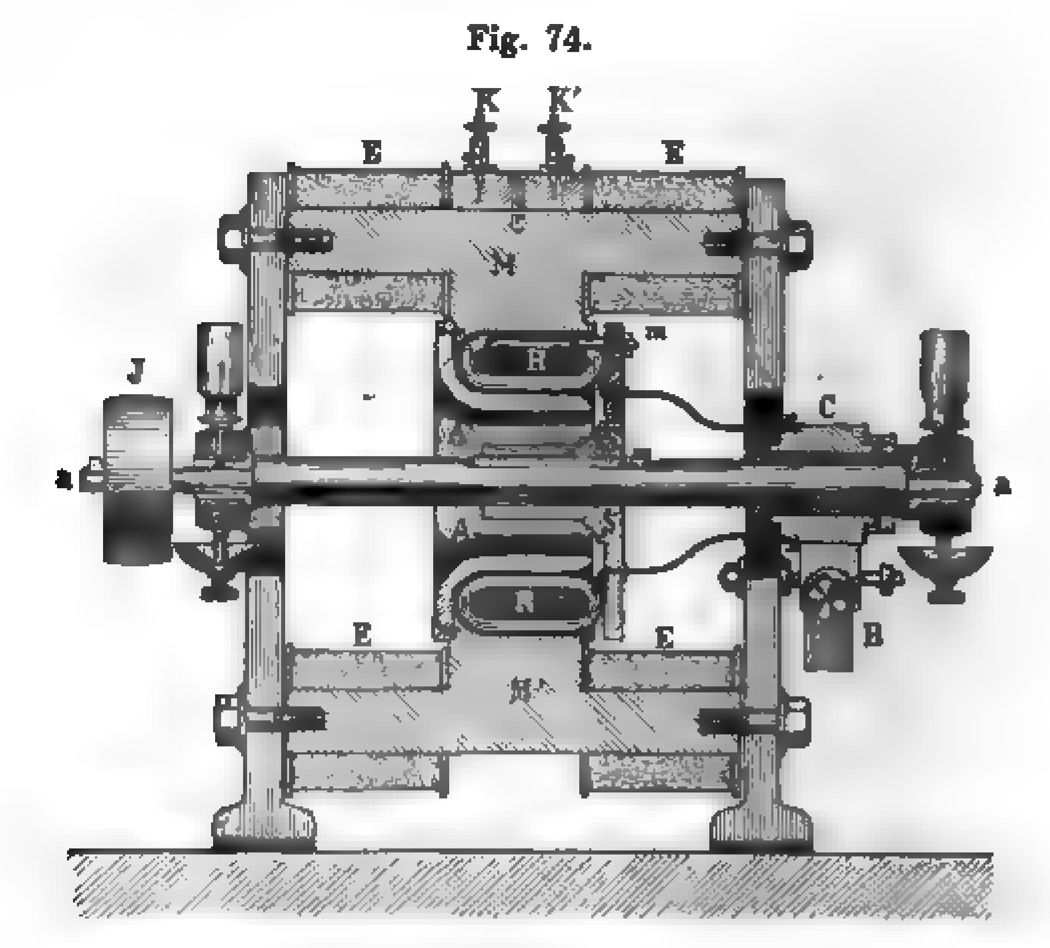
[1]) Siehe §. 42 das Urtheil derselben Commission über die *Siemens*-Maschinen.

[2]) Vgl. E. Z. 1881, p. 197.

[3]) Es sei bemerkt, dass die *Schuckert*'sche Flachring-Maschine weit früher construirt wurde.

lirte Oeffnungen, welche sich in den Speichen des Sterns befinden, theils zwischen diesen zu dem auf der rechten Seite des Apparates befestigten Stromsammler *C*, der, um leicht zugänglich zu sein, auf der verlängerten Achse ausserhalb des Gestelles angebracht ist.

Fig. 74.



Dynamo-elektrische Maschine von Fein.

Die Eisenkerne der Elektromagnete *E* und *E* sind ferner mit den Armaturen *M* und *M'* verbunden, welche die äusseren Seiten des Ringes umschliessen. An diese sind die halbtrichterförmigen eisernen Pohlstücke *A A* geschraubt, welche den Ring in der aus Fig. 74 ersichtlichen Weise auf zwei weiteren Seiten umfassen, so dass sich nahezu die ganze Länge seines Umwindungsdrahtes in den magnetischen Feldern bewegt und nur die dem Messingstern gegenüberliegenden ganz kurzen Drahtstücke nicht elektromotorisch wirken.

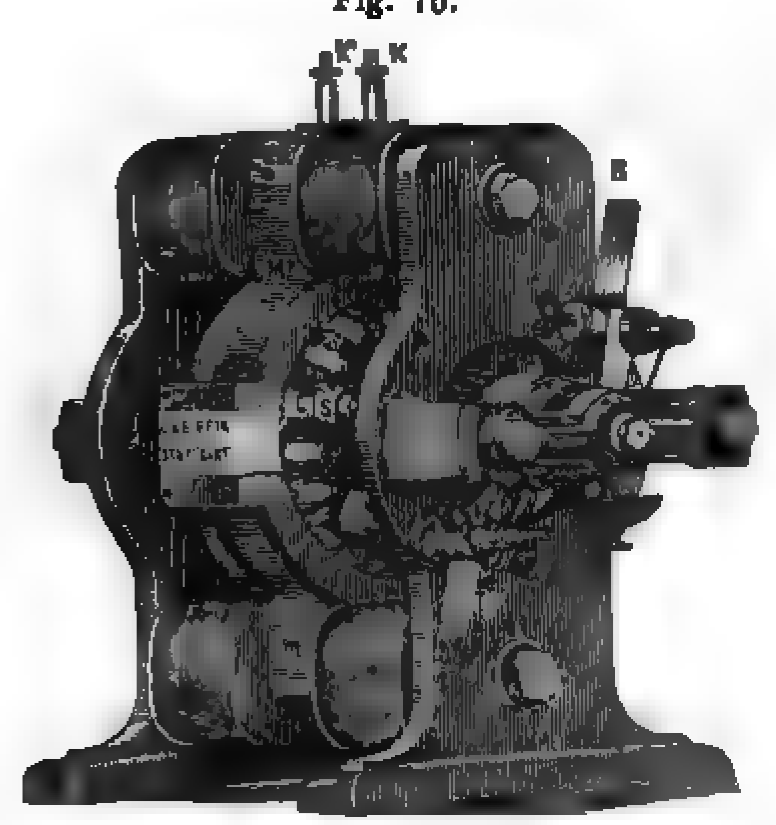
Der erhöhte Nutzeffect der Maschine lässt sich nach *Fein* dadurch nachweisen, dass man die Polstücke *A A* ent-



fernt, so dass die Induction, wie bei der *Gramme*'schen Maschine, nur die äusseren Windungen des Ringes beeinflusst. Hierbei erhielt *Fein* kaum die Hälfte der Stromstärke, welche die Maschine unter Mitwirkung der Armaturen *A A* lieferte.

In anderer Weise suchten *Siemens & Halske* sowie *Schuckert* den gedachten Nachtheil zu vermeiden, dadurch

Fig. 75.



Dynamo-elektrische Maschine von Fein.

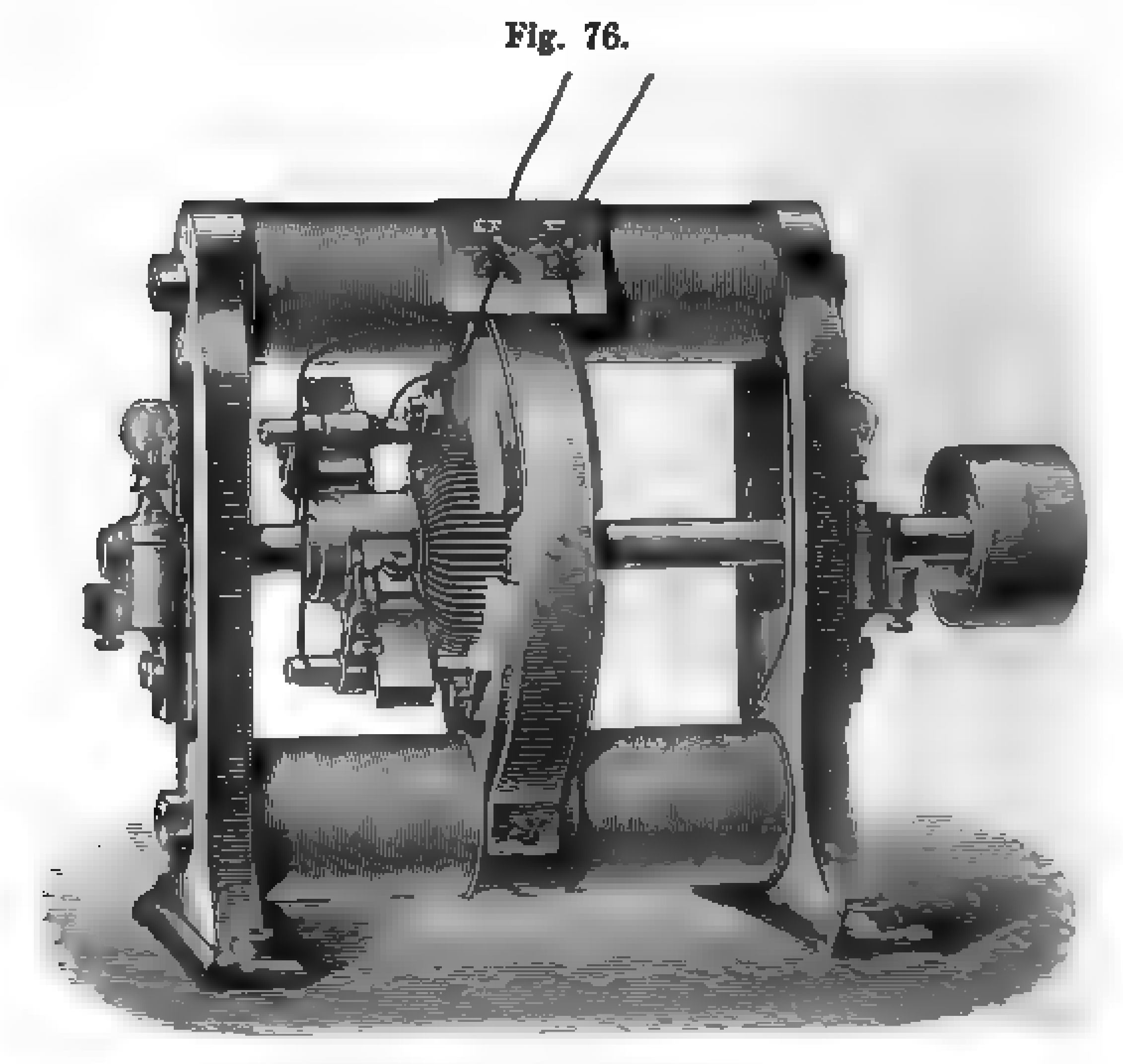
nämlich, dass sie statt des cylinderförmigen Ringes einen solchen von flacher Form verwendeten und die Armaturen der zwei Elektromagnete gleichzeitig auf beiden Seiten des Ringes inducirend einwirken liessen. Nach diesem Princip wurde bereits im Jahre 1875 von *Siemens & Halske* eine Maschine gebaut;[1]) indessen suchten dieselben die Flachring-Maschine nicht weiter zu vervollkommnen, wandten sich vielmehr anderen Constructionen zu, welche vortheilhafter

[1]) Vgl. Z. f. a. E. 1880, p. 403.

schienen. Dem entgegen arbeitete *Sigmund Schuckert* fortwährend an der Vervollkommnung der Flachring-Maschine und hatte den Erfolg, dass mit derselben zahlreiche Installationen getroffen wurden, die sich sehr gut bewährten.

38. Schuckert's dynamo-elektrische Flachring-Maschine. Die Fig. 76 zeigt die *Schuckert*'sche Maschine in perspecti-

Fig. 76.



Schuckert's Flachring-Maschine.

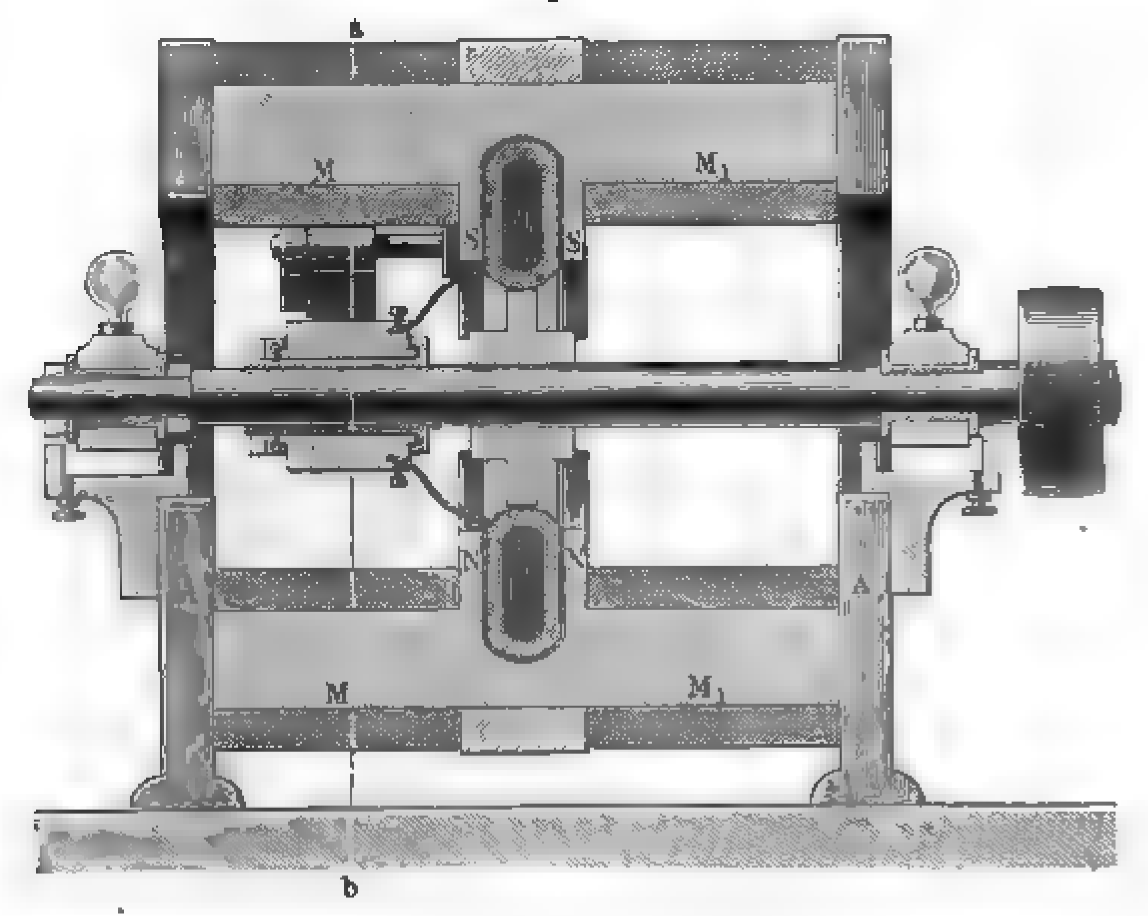
vischer Zeichnung; die Fig. 77 und 78 stellen dieselbe im Längsschnitte und im Querschnitte dar.

Das Gestell wird aus zwei eisernen Seitenständern und den beiden Eisenkernen der Elektromagnete gebildet; die ersteren dienen als Lager für die Rotationsachse des Ringes, die letzteren sind mit den Seitenständern fest verbunden und mit Kupferdraht bewickelt. In dieser Form kann man sich das Gestell als zwei hufeisenförmige Elektromagnete

vorstellen, welche mit ihren gleichnamigen Polen zusammenstossen, so dass *M M* (Fig. 77) die Schenkel des einen, M_1 M_1 die Schenkel des anderen Elektromagnets, die Ständer *A A* die Verbindungstheile beider Schenkel bilden. Die flachen bogenförmigen Pol-Ausläufe *S S* und *N N* (die Armaturen) umschliessen auf beiden Seiten mehr als zwei Drittel



Fig. 77.

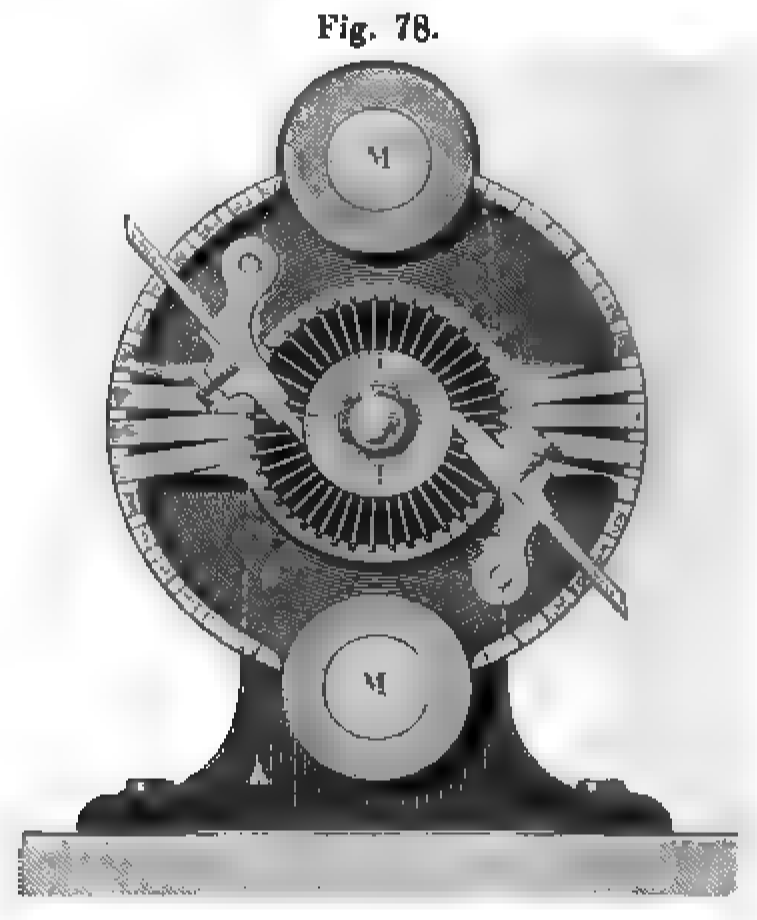


Schuckert's Flachring-Maschine (Längsschnitt).

der gesammten Ringfläche. Hierdurch wird die Magnetisirung des eisernen Ringkerns eine sehr kräftige, weil sie von beiden Seiten zugleich geschieht, und zwar wird die obere Hälfte desselben nordpolarisch, wenn *S S* die Südpole der beiden oben zusammenstossenden Elektromagnete sind, während die untere Hälfte südpolarisch wird; es wird ferner jede Drahtwindung bis auf das kurze Stückchen an der Innenseite des Ringes der directen Inductionswirkung der kräftigen magnetischen Felder ausgesetzt, welche sich zwischen dem Eisen des Ringes und den Magnetpolen bilden.

Das an der Innenseite des Ringes befindliche Stückchen des Drahtes wird bloss durch den Magnetismus des Ringes inducirt. Es gelangt also nahezu die ganze Drahtlänge zur vollen Wirksamkeit und ist dadurch das Verhältniss der wirksamen zu den unwirksamen Drahttheilen, wovon unter sonst gleichen Umständen die Stärke des erregten Stromes abhängt, ein sehr günstiges.

Fig. 78.



Schuckert's Flachring-Maschine (Querschnitt).

Der Eisenring besteht nicht aus einem massiven Stück, sondern aus isolirten Blechringen, in der Querschnittszeichnung (Fig. 78) bedeuten die dicken schwarzen Striche die isolirenden Scheiben. Die magnetische Trägheit eines temporären Magnets wächst proportional mit der Masse des Eisens, und es ist daher bei massiven Eisenkernen eine verhältnissmässig lange Zeit erforderlich, um beim Polwechsel den vorhandenen Magnetismus zu vernichten, so dass bei schneller Umdrehung des Ringes, also bei sehr häufigem Polwechsel, wie schon oben gesagt wurde, eine Schwächung

des sich neu bildenden entgegengesetzten Magnetismus entsteht. In den einzelnen Eisenschichten von kleiner Masse vollzieht sich dagegen der Polwechsel schneller, das Maximum les Magnetismus wird vollkommener erreicht und dadurch lie Erwärmung dieser Theile verhindert. Aus demselben irunde wird auch der Verbrauch der zum Umtriebe des linges erforderlichen Arbeit erheblich reducirt, weil durch lie Ausnutzung des Ringes von beiden Seiten kein Theil lesselben unnütz magnetisirt, sondern aller Magnetismus in Elektricität umgesetzt wird.

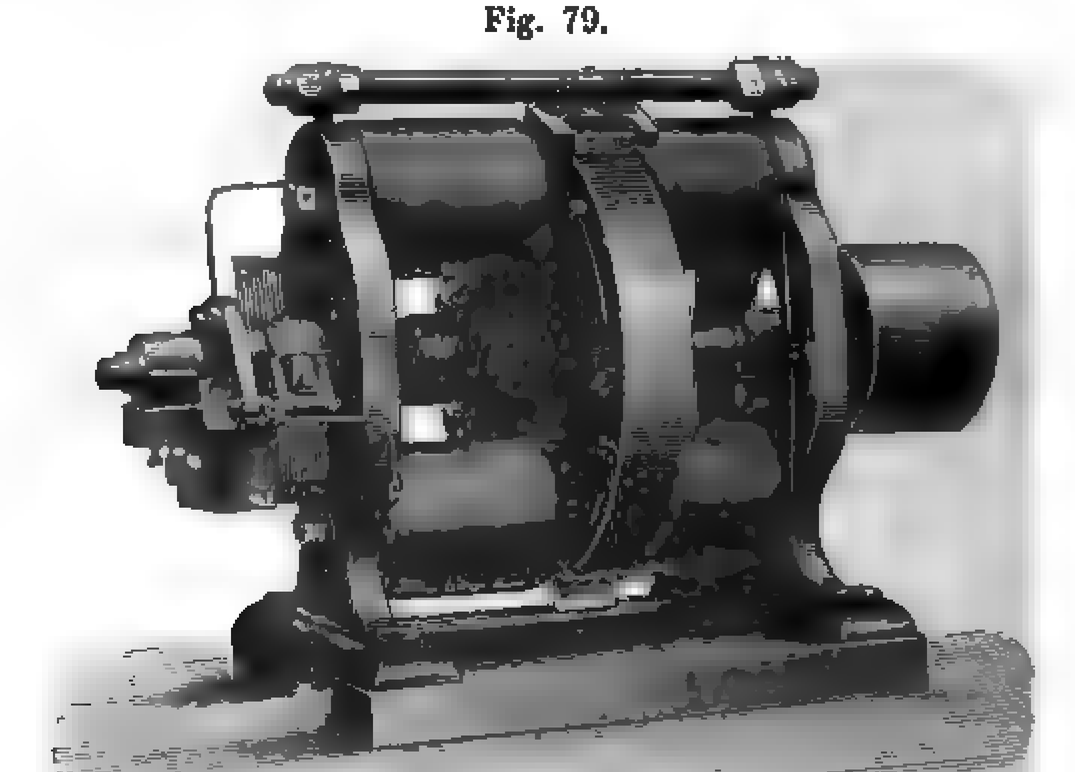
Schuckert verbindet den Ring mit der Achse durch Metall, während dieses bei *Gramme* durch Holz geschieht, um den störenden Inductionswirkungen zu begegnen, welche die Bewegung grösserer Drahtmassen im magnetischen Felde hervorbringen. Von einer solchen zur Festigkeit der Maschine wesentlich beitragenden metallischen Verbindung hat die Maschine von *Schuckert* nichts zu befürchten, weil nur ein ganz kleiner Theil des sich bewegenden Drahtes von jener nductionswirkung berührt wird.

Wie leicht zu ersehen ist, haben die Ströme der beiden Seiten die gleiche Richtung und addiren sich. Die Nutzbarnachung der gesammten Ströme der oberen und unteren Iälfte des Ringes, die sich natürlich auch hier in Folge hrer entgegengesetzten Richtung ausgleichen würden, gechieht wie bei der *Gramme*'schen Maschine durch Ableitung lerselben in der Nähe der neutralen Linie vermittelst zweier Drahtbürsten.

Aehnlich wie bei *Gramme* besteht auch der Strom-.bgeber aus eben so vielen von einander isolirten Theilen, ls Drahtspulen auf dem Ringe sich befinden; die Zahl derelben schwankt je nach der Construction der Maschine für geringe oder hohe Spannung zwischen 10 und 100; das Drahtende jeder Spule ist auch hier immer mit dem Anange der nächstfolgenden verbunden, zugleich aber an ein

Segment des Stromabgebers festgeschraubt, welches nach Lösung der Schraube von der Achse abgenommen und erneuert werden kann. Eine solche Auswechselung braucht aber erst nach mehrjährigem Betriebe der Maschine statt zu finden, da die Abnutzung nur sehr gering ist und die einzelnen ableitenden Segmente ca. 2 mm tief sind. Der besseren Auswechselung wegen ist bei den neueren Maschinen der Stromabgeber nach aussen verlegt worden. (Vgl. Fig. 79, 80, 81, 82.)

Fig. 79.



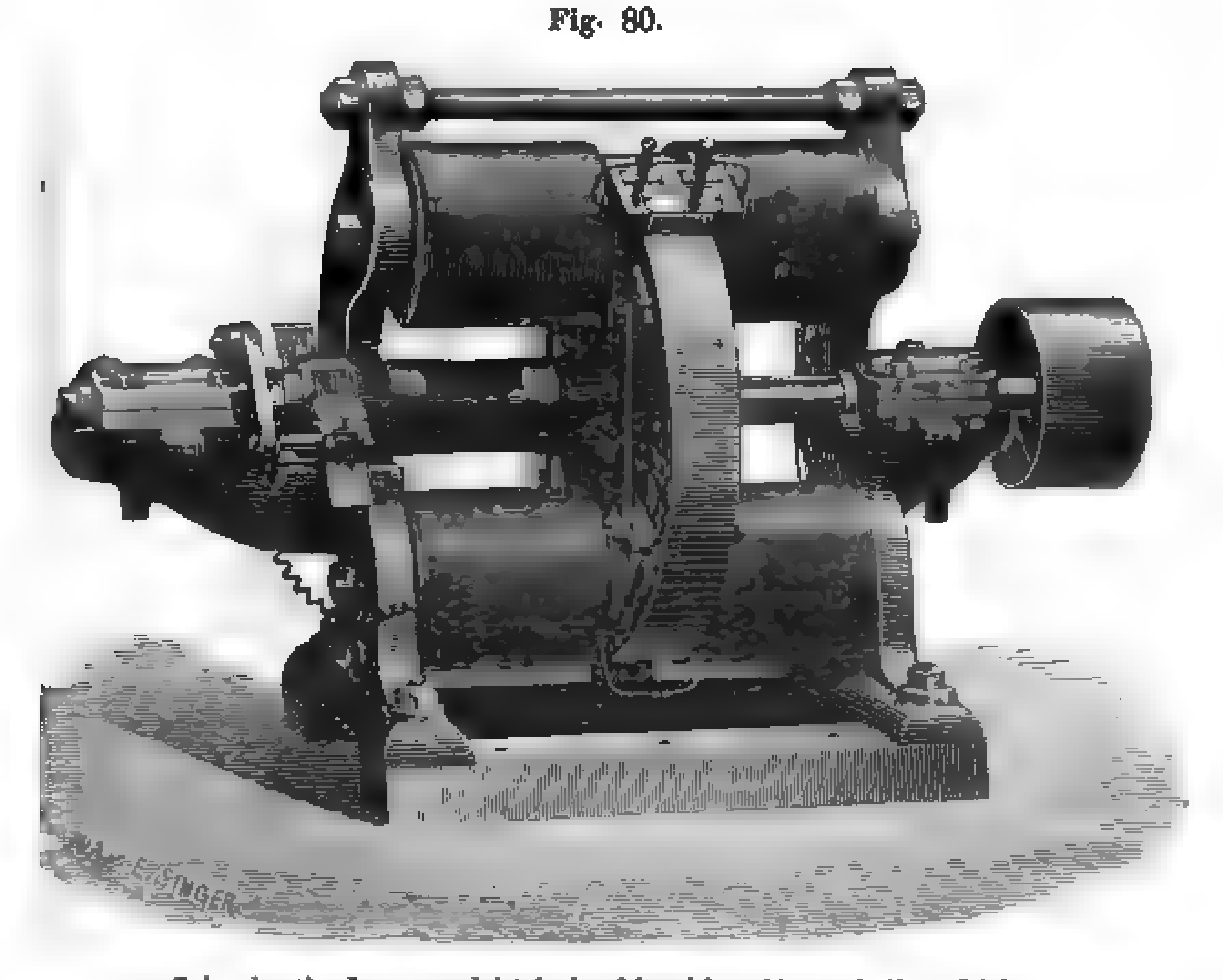
Schuckert's dynamo-elektrische Maschine für ein Licht.

In der Regel führt *Schuckert* bei seinen Maschinen das dynamo-elektrische Princip durch, so dass der im Ring erzeugte Strom durch die Elektromagnete und die in der Leitung befindlichen zu bearbeitenden Medien (Kohlenlicht-Regulator, galvanische Bäder etc.) in einem Stromkreise hindurchgeht, wie dieses namentlich aus den Fig. 79 u. f. zu ersehen ist.

Fig. 79 stellt die dynamo-elektrische Maschine für ein Licht dar, Fig. 80 für getheiltes Licht. Die hohe Spannung

des Stromes, welche bei getheiltem Lichte erforderlich ist, konnte namentlich durch die geringe Erwärmung des Ringdrahtes in Folge seiner vortheilhaften Ausnutzung und der kräftigen Luftkühlung des Ringes bei der Rotation erreicht werden. Dabei entsteht nämlich, ähnlich wie bei einem Ventilator eine intensive Luftströmung, welche sich auch auf

Fig. 80.



Schuckert's dynamo-elektrische Maschine für getheiltes Licht.

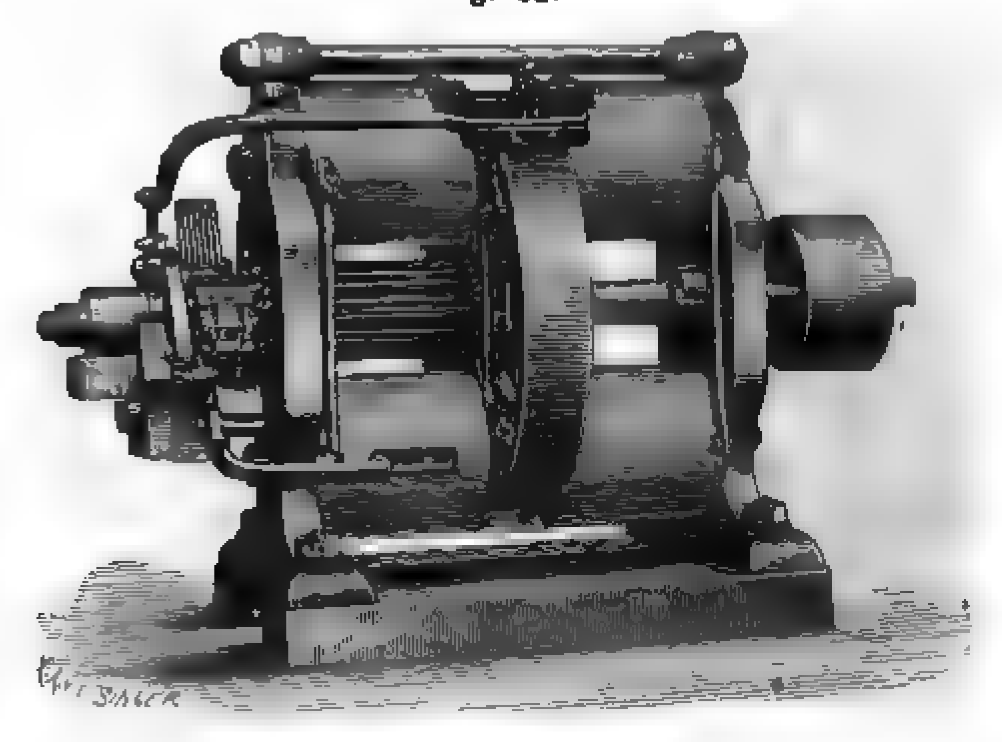
die hohlen Zwischenräume zwischen den Eisenblechscheiben des Blechringes selbst erstreckt und dadurch eine Abkühlung von innen bewirkt.

Das dynamo-elektrische Princip wird auch bei den Maschinen durchgeführt, welche zu galvanoplastischen Zwecken dienen, bei denen die Bäder einen nur geringen Widerstand bieten. Fig. 81 stellt eine solche Maschine dar, deren Construction auf den im §. 34 mitgetheilten Principien be-

ruht, wonach Kupferstangen und Blech zur Bewicklung des Ringes und der Magnete dienen.

Soll aber der Strom durch Metallbäder mit sehr grossem Widerstande hindurchgehen, so würden die Elektromagnete bei strenger Durchführung des dynamo-elektrischen Princips nicht hinreichend stark magnetisirt werden. In solchen

Fig. 81.



Dynamo-elektrische Maschine mit einem Stromabgeber für Galvanoplastik.

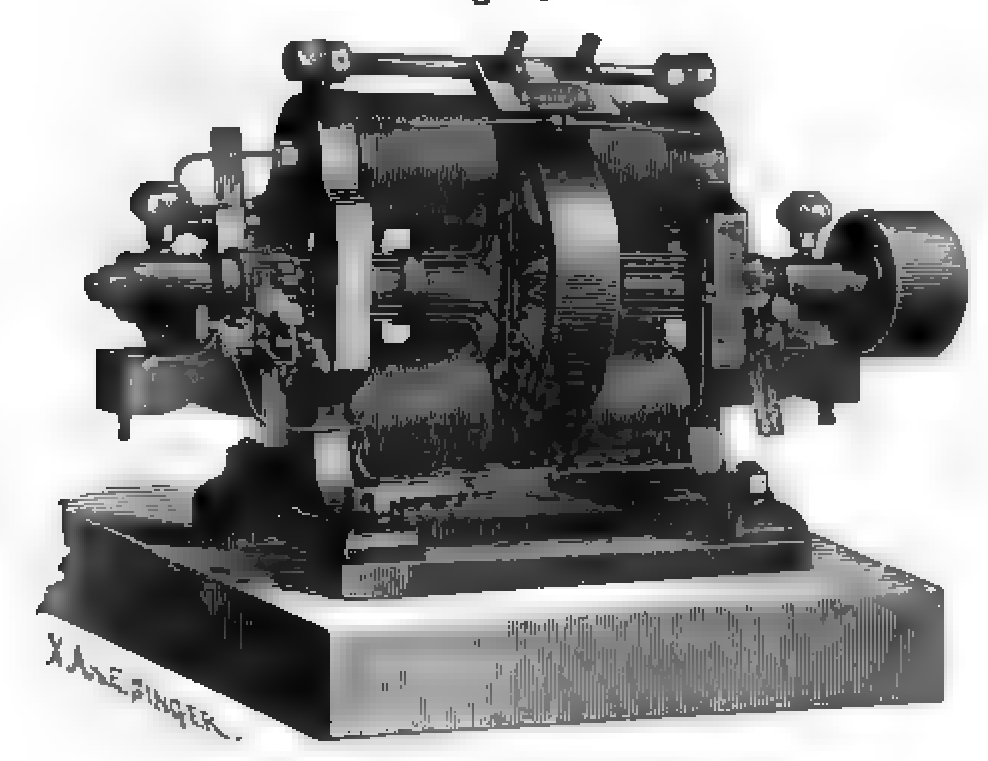
Fällen werden die Maschinen auf beiden Seiten des Ringes mit Stromabgebern versehen und es wird die Verbindung derselben mit den Ringspulen so angeordnet, dass der kleinere Theil, etwa ein Drittel des erzeugten Stromes, von der einen Seite abgeleitet und direct nur um die Elektromagnete geführt wird, während man den übrigen Strom der anderen Seite zur Arbeit verwendet. (Vgl. Fig. 82.)

Dadurch wird auch die Polumkehrung der Elektromagnete durch den Polarisationsstrom verhütet, während bei den vorhin besprochenen Maschinen ein besonderer automatischer Stromunterbrecher (s. Abth. 14) einzuschalten ist.

In anderen Fällen werden zwei Ringe auf einer und derselben Achse befestigt, wozu die Flachringform sich besonders

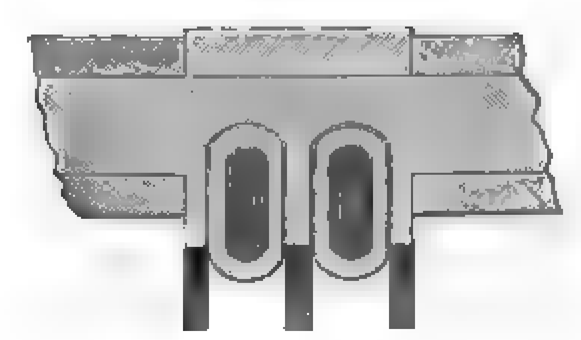
gut eignet, wie die Skizze (Fig. 83) zeigt. Die Maschinen werden dann mit einem drehbaren Umschalter versehen, mittelst dessen man die Ströme beider Ringe sowohl nebeneinander auf Quantität als auch hintereinander auf Spannung schalten, ferner auch jeden der beiden Ströme für sich allein benutzen kann.

Fig. 82.



Dynamo-elektrische Maschine mit zwei Stromabgebern, speciell für Vernickelung, Versilberung, Vergoldung u. s. w.

Fig. 83.

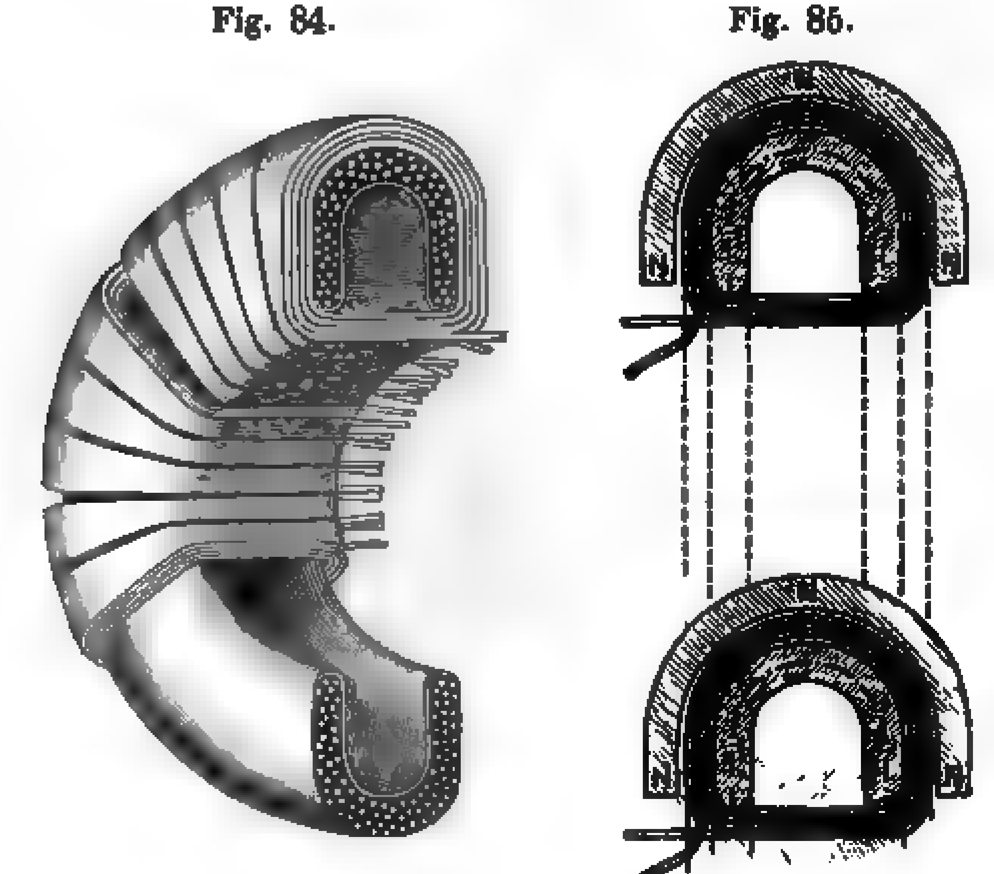


Schuckert's Doppelring.

Neuerdings ist dem *Gramme*'schen Ringe von *Ch. F. Heinrichs* in London eine Gestalt gegeben worden, durch welche die früher gerügten Mängel des Ringes beseitigt werden dürften. Der

39. Canalisirte Ringanker von Heinrichs ist in Fig. 84 sowie in Fig. 85 im Schnitt dargestellt. Hiernach ist der Querschnitt des durch ein Bündel dicken Eisendrahtes gebildeten oder auch aus massivem Eisen verfertigten Kernes hufeisenförmig, so dass der Draht nur auf der äusseren Fläche des Ankers aufliegt. Neu ist auch die Construction

Fig. 84. Fig. 85.



Ringanker von Heinrichs.

der inducirenden Elektromagnete, welche die äussere Fläche des Ankers ganz umschliessen. Da demnach die im Ringanker durch Influenz gebildeten starken Magnetpole die in Fig. 85 punctirt gezeichnete hufeisenförmige Gestalt haben, so muss der Ringanker an der Stromerzeugung sehr participiren. Auch lässt die Form der Elektromagnete diese auf den grösseren Theil des Drahtes einwirken; das Verhältniss, in welchem der stromerzeugende Draht zu dem nutzlosen Drahte steht, ist 10″ zu 4″. Dabei erfolgt die Einwirkung der festen Pole nur auf die denselben zunächst liegenden Theile der Drahtspirale, wodurch der erzeugte Strom an

ärke gewinnt (vgl. die Erörterungen p. 10); auch lassen e Beobachtungen *Depres's* erwarten, dass die Wirkung des pparates eine recht beträchtliche ist. Schliesslich ist der anal insofern von Nutzen, als er e durch die ständige Veränderung des magnetischen Zustandes er einzelnen Eisenpartikelchen und urch die kräftigen Ströme in dem inge entwickelte Wärme unschädlich macht. Die stets zu- und bströmende Luft trägt zunächst ur Abkühlung des Ringes selbst ei; sodann kommt ein Theil der rahtlage mit dem kühlenden Luftstrome des Canals direct in Berührung und bewirkt dadurch, dass uch die unteren dem Anker aufliegenden Drahtlagen durch die Erwärmung des Drahtes nicht zerstört werden.[1])

Fig. 86.

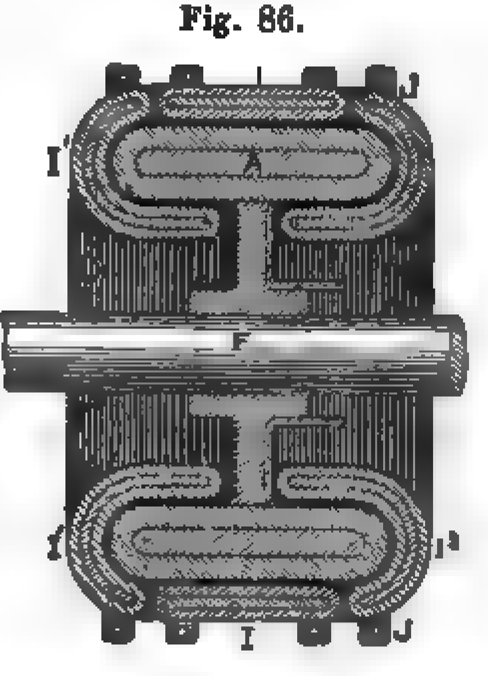


Fig. 87.

Fitzgerald's Ring und Elektromagnet.

Elektromagnete, wie sie in diesem Paragraph angedeutet wurden, charakterisiren auch

40. Desmond G. Fitzgerald's Maschine.[2]) Die Fig. 86 tellt eine etwas modificirte Form des Ringes vor, der insofern on dem *Gramme*'schen Ringe abweicht, als er wie der *Brush*'sche Ring durch eiserne Keile in mehrere Theile geheilt ist. Der denselben umgebende Magnet setzt sich aus ehreren Stücken zusammen. J^1 und J^2 sind in sich geschlossene Ringe, welche von der Seite her gegen den Inductionsring gebracht und mittelst der Lappen *J J* an

[1]) Vgl. Z. f. a. E. 1881, p. 177, so wie die Beschreibung der dynamoektrischen Maschine von Heinrichs, p. 250.

[2]) Vgl. Z. f. a. E. 1881, p. 72.

geeigneten Vorsprüngen des Rahmens verschraubt werden. Um den Elektromagnet *J* an seine Stelle bringen zu können, wird derselbe aus zwei Theilen zusammengesetzt. Die Schnittflächen des Elektromagnets *J* liegen in der Verticalebene der Wellenmitte. Die Bewicklung des Elektromagnets ist, wie in Fig. 87 angedeutet ist, symmetrisch zu jener Verticalebene durchgeführt, in welcher auch, oben bezw. unten, die beiden Pole des Elektromagnets sich befinden. Der Elektromagnet ist danach identisch mit zwei der gewöhnlichen hufeisenförmigen Elektromagnete, die mit den gleichnamigen Polen zusammengeschlossen sind. Ueber den Wirkungsgrad der Maschine lässt sich noch nichts Bestimmtes sagen; „ein wichtiges Bedenken müssen wir aber" — bemerkt *Uppenborn* richtig — „betonen bezüglich der Anfertigung der Maschine. Die Herstellung der doppelt gekrümmten Elektromagnete dürfte nämlich sehr schwer fallen. Derartige Flächen lassen sich nicht mit einer solchen Genauigkeit herstellen, wie sie für den vorliegenden Zweck wünschenswerth, ja, nothwendig erscheint. Will man daher die Gefahr umgehen, dass der Ring sich an den Magneten reibt, wodurch die Maschine in kurzer Zeit unbrauchbar würde, so müssen die Zwischenräume zwischen beiden zum Nachtheile der inducirenden Wirkung sehr viel grösser gemacht werden, als dies bei anderen dynamo-elektrischen Maschinen der Fall ist."

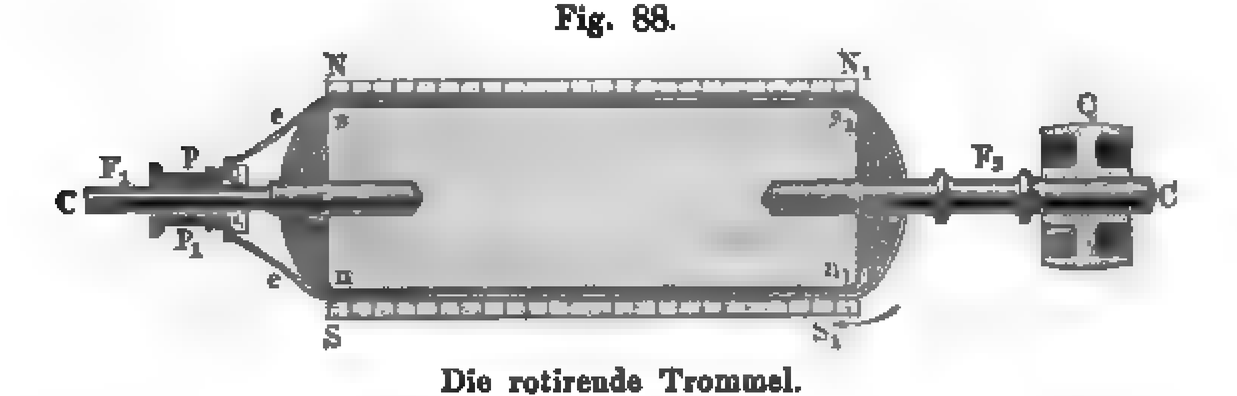
41. Siemens-Halske's magnet- und dynamo-elektrische Trommelmaschine. (*System v. Hefner-Alteneck.*) Bei den *Gramme*'schen Maschinen bildet der eiserne Ring mit seinen Drahtspulen den wesentlichsten Bestandtheil; bei den von *Friedrich v. Hefner-Alteneck*, dem Vorsteher des Constructions-Bureaus der Telegraphen-Bauanstalt von *Siemens & Halske* in Berlin schon im März 1872 entworfenen und am 5. Juni 1873 in England und in anderen Ländern patentirten magnet- und dynamo-elektrischen Inductionsmaschinen

vertritt eine mit Draht umwickelte Trommel die Stelle dieses Ringes, mögen dieselben nun für den Kleinbetrieb mit Stahlmagneten besetzt und mit einer Kurbel von der Hand in Bewegung gesetzt werden oder für den Betrieb im Grossen nach dem dynamo-elektrischen Princip gebaut und mit kräftigen Elektromagneten ausgerüstet sein.

Gestelle und Einrichtung dieser bewickelten Trommel unterscheiden sich bei den verschiedenen Constructionen durch die Anzahl der Theile, in welche die Wickelung zerfällt. Zum leichtern Verständnisse sind in den folgenden Abbildungen dieselben Theile mit gleichen Buchstaben bezeichnet.

Die Fig. 88 stellt eine solche Trommel einfachster Art dar. $N N_1$ bezeichnen eine Reihe feststehender kräftiger

Fig. 88.



Die rotirende Trommel.

Nordpole, SS_1 ebenso viele Südpole. Im Innern der Trommel, deren Achse $C\,C$ in den Lagern F_1 und F_2 drehbar ist, befindet sich dicht an ihrer Wandfläche ein eiserner Cylinder, welcher ebenfalls mit der Achse $C\,C$ fest verbunden ist und mit dieser umläuft.

Die festen äusseren Magnetpole $N N_1$ und $S S_1$ wirken durch Influenz auf den innern Eisenkern und verwandeln ihn in einen kräftigen Quermagnet, wodurch umgekehrt der Magnetismus jener Pole beinahe zur vollen Wirkung eines geschlossenen Magnets gesteigert wird. Der Zwischenraum zwischen den Magnetpolen und dem Eisenkern (Anker) bildet zwei sehr intensive entgegengesetzt polarisirte magne-

tische Felder. Da die Drähte, in welchen die Inductionsströme erzeugt werden sollen, der Länge nach auf den Trommelmantel oder direct auf den innern Eisenkern $s s_1 n_1 n$ aufgezogen sind, so gehen dieselben bei der Drehung der Trommel durch die magnetischen Felder hindurch, und zwar passirt jede Hälfte einer einzelnen Windung bei jedem Umlaufe einmal jedes der beiden Felder.

Die Polflächen $N N_1$ und $S S_1$, welche in der Figur in verticalem Durchschnitte gezeichnet sind, erstrecken sich durch bogenförmige Verlängerungen um den Anker oder den Eisenkern herum und umschliessen ihn der ganzen Länge nach auf etwa zwei Drittel seines Umfanges. Die Ströme, welche gleichzeitig in den durch die entgegengesetzten magnetischen Felder hindurchgehenden Hälften einer und derselben Drahtwindung inducirt werden, sind so gerichtet, dass sie sich summiren. Diese beiden Ströme erreichen in jeder Windung ihr Maximum, wenn die Hälften der Windung ungefähr durch die Mitte der magnetischen Felder hindurchgehen; sie sinken dagegen in einer um 90° davon verschiedenen Lage auf Null herab.

Der isolirte Kupferdraht ist, wie bereits gesagt, nicht senkrecht zur Achse der Trommel um diese gewunden, sondern der Länge nach auf dieselbe aufgezogen, und zwar bei den für die grösseren Leistungen bestimmten Maschinen in vielen Windungen und in 8 bis 28 (und mehr) einzelnen Partieen, welche auf dem Trommelmantel eine zusammenhängende Windung darstellen, von der den einzelnen Partieen entsprechend 16 bis 56 (und mehr) Schleifen nach den von einander getrennten, unter sich isolirten 16 bis 56 (und mehr) Theilen des Collectors geleitet sind. Es ist somit jede dieser Drahtgruppen ausserdem, dass dieselben unter sich ein zusammenhängendes Ganze bilden, mit ihrem Anfange und Ende mit dem Collector, auf dessen Einrichtung wir sogleich zurückkommen, in Verbindung.

Nehmen wir an, dass bei der Drehung der Trommel die oberhalb der Linie $s\,s_1$ liegenden Drahttheile sich dem Nordpole $N\,N_1$ nähern, so werden sich die anderen Hälften derselben Windungen, welche unterhalb der Linie $n\,n_1$ liegen, den Südpolen $S\,S_1$ nähern; der erzeugte Inductionsstrom hat daher für den seitwärts stehenden Beschauer in jeder halben Windung oben und unten eine entgegengesetzte Richtung. Aber eben desshalb unterstützen sich diese beiden gleichzeitig auftretenden Ströme in dem rechteckig gebogenen Drahte und summiren sich zu einem einzigen Strome, der in den Anfangs- und Enddrähten $e\,e$ einer jeden Drahtgruppe zu der Sammel- und Ableitescheibe $p\,p_1$ gelangt. Andererseits aber kommt jede Hälfte einer solchen Drahtpartie, welche so eben an den Nordpolen $N\,N_1$ vorbeigegangen ist, gleich darauf zu den Südpolen $S\,S_1$ und erhält dadurch einen Summenstrom, welcher dem vorigen entgegengesetzt ist.

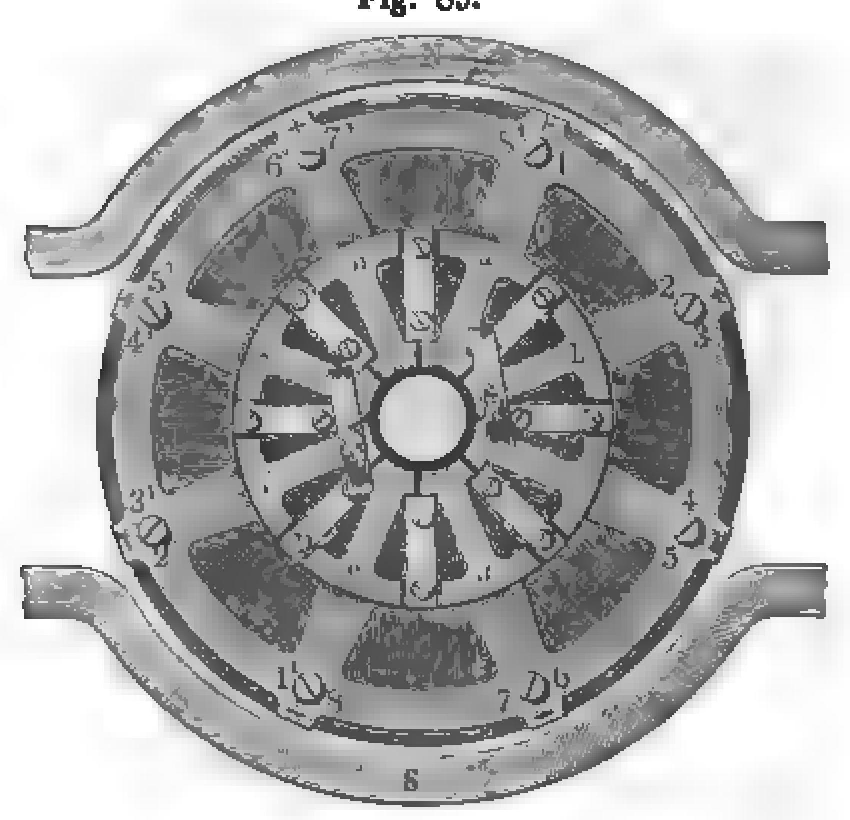
Aber nicht bloss die eine Drahtpartie, welche wir in Betracht gezogen haben, erhält einen Inductionsstrom, es bilden sich solche vielmehr auch gleichzeitig in den übrigen 7 bis 27 (u. m.) Theilen des zusammenhangenden Stromkreises, wenn auch in verschiedener Stärke, und es kommt also darauf an, die in den einzelnen Drahtpartieen beim Uebergange aus dem einen in das andere magnetische Feld auftretenden Ströme von wechselnder Richtung zu Strömen von unveränderlicher Richtung zu vereinigen, um so einen einzigen ununterbrochenen Strom von nahezu unveränderlicher Stärke aus der Maschine nach aussen ableiten zu können.

Diese Aufgabe erfüllt der Collector, der alle Ströme der einen Richtung gleichzeitig nach der einen Ableitestelle führt, während er die Ströme der entgegengesetzten Richtung nach der anderen Ableitestelle bringt. Derselbe ist in Fig. 89 und schematisch in Fig. 90 abgebildet, in welcher N und S die Reihen der einzelnen Nord- und Südpole

bezeichnen, wenn Stahlmagnete angewendet werden oder auch Armaturen von weichem Eisen, in denen durch ihre Verbindung mit entsprechend liegenden Elektromagneten die genannten magnetischen Polaritäten erzeugt werden. Die dritte, mit den Ziffern 1 bis 8 besetzte Linie bezeichnet den mit 8 Drahtgruppen bewickelten Mantel der Trommel, welche zwischen *N* und *S* rotirt; der innere kleinere unterbrochen gezeichnete Kreis ist die auf der Trommelachse befestigte Collectorscheibe $p\,p_1$ der Fig. 88 und 89.



Fig. 89.

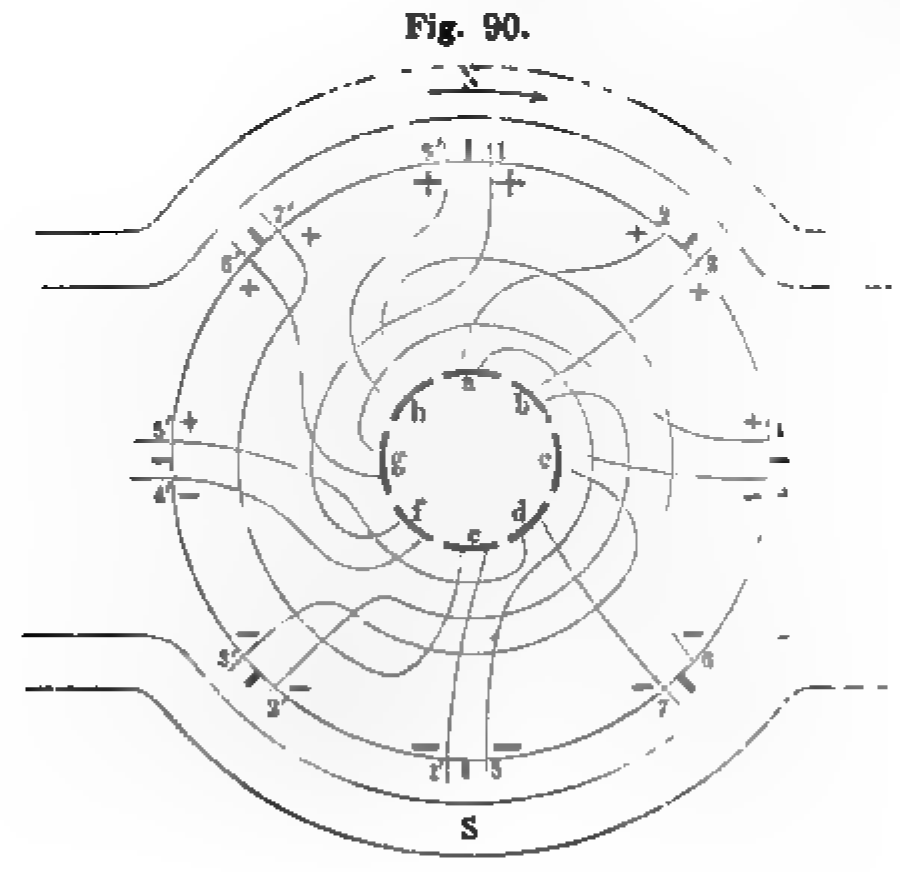


Die Collector-Scheibe.

Die zugehörigen Enden *e e* (Fig. 88) einer jeden der 8 Drahtgruppen bilden im Ganzen 16 Enden, und diese sind an der vorderen Stirnfläche der Trommel in eigenthümlicher Weise paarweise zu 8 gegen einander isolirten Metallsectoren *a* bis *h* der Collectorscheibe zugeführt; letztere bildet daher keine volle Scheibe, vielmehr sind die Sectoren durch schmale radiale Zwischenräume von einander getrennt. Die zwei Drahtenden, welche mit denselben Ziffern bezeichnet sind, gehören zu derselben Drahtgruppe; ist also 1 der

Anfang der ersten Drahtgruppe, so ist 1′ das Ende derselben Drahtgruppe; ebenso bilden 2 und 2′ . . . . . 8 und 8′ die Enden der zweiten und letzten Drahtgruppe, welche die Mantelfläche der Trommel umgeben. Die beigesetzten Zeichen + und — deuten die Richtung des Stromes an, welcher aus jeder für sich allein betrachteten Drahtgruppe bei einer bestimmten Lage derselben aus dem mit + oder —

Fig. 90.



Schematische Zeichnung des Collectors.

versehenen Drahtende austritt, wenn die Trommel zwischen den festen äusseren Magnetpolen *N* und *S* in der Richtung des Pfeiles umläuft.

An zwei diametral gegenüber liegenden Stellen wird je eine metallene Rolle[1]) oder eine metallene Drahtbürste (Ableiter) gegen den aus den Metallsectoren gebildeten unterbrochenen Collectorumfang federnd angedrückt, so dass die Sectoren, wenn sie mit der Trommel umlaufen, paarweise

[1]) In den neuesten Maschinen werden statt der Ableiterollen ausschliesslich flache Drahtbürsten angewandt.

der Reihe nach unter den beiden Ableitern hinweggehen und während der Berührung mit ihnen die metallische Verbindung zwischen den Drahtwindungen der Trommel und zwei Klemmen herstellen, in welchen die Enden des äussern Schliessungskreises oder der Leitung befestigt sind. Die Stellen, wo die den inducirten Strom aufnehmenden Ableiter die Sammelscheibe berühren, müssen, wie bei den *Gramme*'schen Maschinen, da liegen, wo ein Wechsel der Stromesrichtung eintritt. Wenn wir die Linie, welche die Sectoren *g* und *c* (Fig. 90) verbindet, die Mittellinie, und die Linie, welche die Mitte *N* und *S* der magnetischen Felder verbindet, die Pollinie nennen, so erhalten bei der Drehung der Trommel diejenigen Drahtpartieen die stärksten Ströme, welche die Pollinie passiren, wogegen die Drähte, welche durch die Mittellinie oder durch die magnetischen Indifferenzstellen der magnetischen Felder hindurchgehen, ohne Strom sind. In den Drahtstücken zwischen diesen Gränzlagen entstehen natürlich ebenfalls Ströme, welche bei der Drehung der Trommel in der Richtung des Pfeiles links von *N* an Stärke zunehmen, dagegen rechts über *N* hinaus bis zu Null abnehmen.

So lange ein Drahtbündel der Trommel sich zwischen der Mittellinie und der Pollinie bewegt, also mit der einen oberen Hälfte sich auf dem Wege *g a c* befindet, behält der in derselben erst anschwellende, dann abnehmende Strom eine und dieselbe Richtung; dasselbe geschieht, wenn dieselbe Drahthälfte sich unterhalb der Mittellinie auf dem Wege *c e g* befindet, nur mit dem Unterschiede, dass jetzt der Strom in einem und demselben Drahtbündel die entgegengesetzte Richtung hat als früher. Die Mittellinie ist daher, wie bereits gesagt, die Stelle, wo für jedes Drahtbündel der Trommel der Stromwechsel eintritt und an diesen beiden Stellen *g* und *c* der Sammel- und Ableitescheibe müssen daher die ableitenden Rollen oder Bürsten aufliegen, um in

derselben Weise, wie dieses bei der *Gramme*'schen Maschine näher erläutert worden ist, die sämmtlichen bei der Rotation der Trommel fortwährend neu erzeugten positiven Ströme aus der Maschine aufzunehmen und rechtzeitig abzuleiten, bevor sie durch die nachfolgenden negativen Ströme in ihrer Wirkung aufgehoben werden.

Durch die metallischen Sectoren *a* bis *h* werden nur je zwei im Uebrigen ganz von einander getrennte Drahtpartieen der Trommel mit einander verbunden, und zwar so, dass die ganze Drahtlänge aller acht Bündel aus zwei in *g* und *c* an einander stossenden Zweigen besteht, nämlich aus dem ununterbrochenen Zweige *c* 5 5′ *d* 7 7′ *e* 1′ 1 *f* 4′ 4 *g* und dem ebenfalls ununterbrochenen Zweige *c* 3′ 3 *b* 2′ 2 *a* 8 8′ *h* 6 6′ *g*. Bei dieser Schaltung haben nicht nur die in allen vier zu demselben Zweige gehörigen Drahtbündeln erzeugten Inductionsströme die nämliche Richtung, sondern es tritt auch bei der in der Zeichnung angegebenen Stellung der Drahtbündel aus beiden Zweigen der positive Strom bei *g*, der negative bei *c* auf die ableitenden Drahtbürsten und von da in die Leitung über.

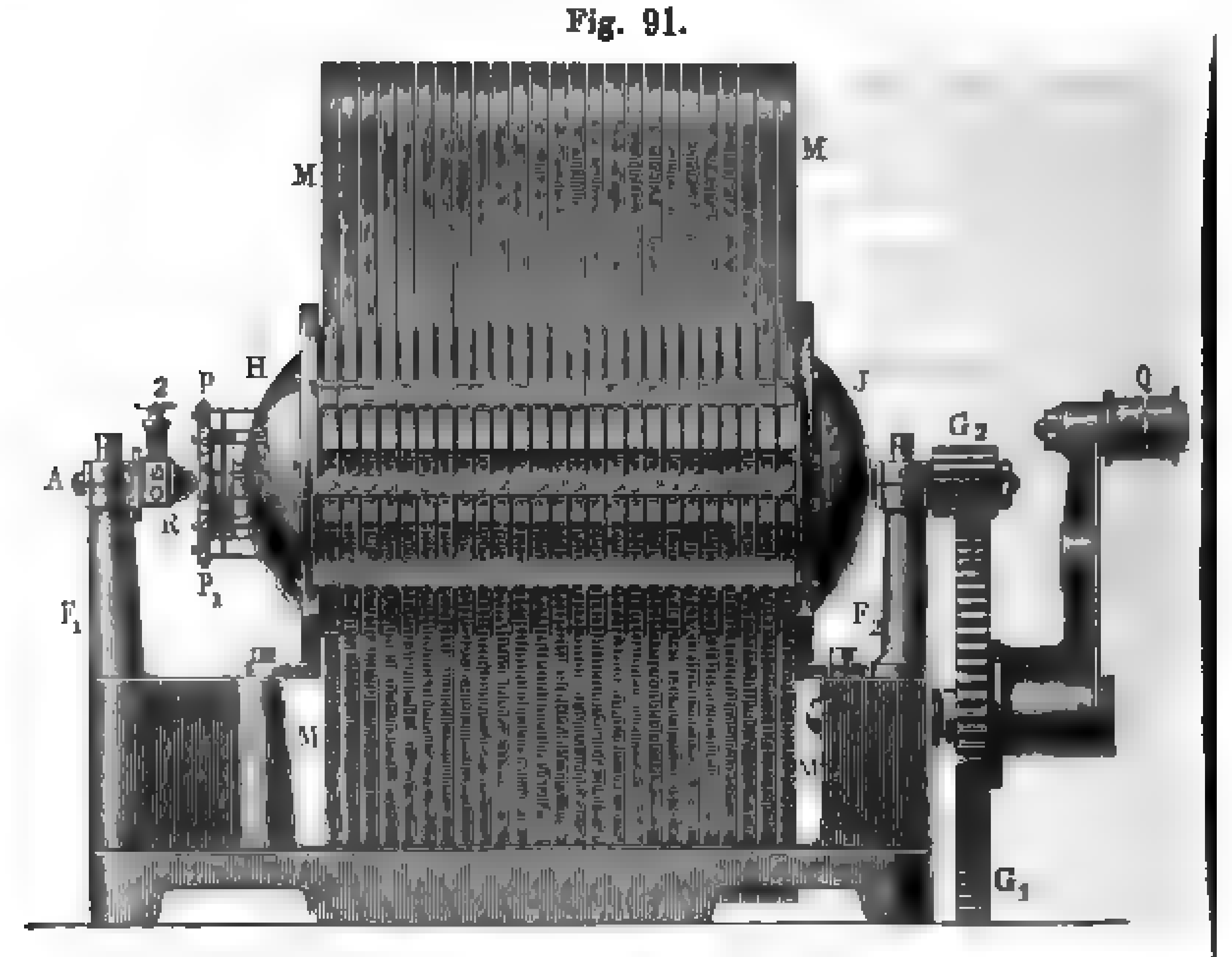
Bei der weiteren Drehung der Trommel in der Richtung des Pfeiles kommt zwar der Sector *b* an die Stelle von *c* und ebenso *f* an die Stelle von *g*, doch ändert das nichts an dem Sachverhalte, dass der positive Strom stets an derselben Raumstelle auf die bei *g* feststehende Ableitebürste, und ebenso der negative Strom auf die bei *c* befindliche Bürste aus der Maschine in die Leitung übergeführt wird.

Hiernach ist klar, dass der von der *Hefner-Alteneck*'schen Trommelmaschine in die Leitung entsendete Strom stets eine und dieselbe Richtung und bei gleichbleibender Umlaufsgeschwindigkeit dieselbe Stärke behält, weil die bei den einzelnen Umläufen der Trommel in den acht Drahtbündeln erzeugten Ströme von ungleicher Stärke sich bei jeder Umdrehung zu einem einzigen Strome zusammensetzen,

dessen Intensität nur von der Geschwindigkeit der Drehung abhängig ist.

42. Die Siemens-Halske'sche magnet-elektrische Trommelmaschine für den Kleinbetrieb. *(System v. Hefner-Alteneck für Laboratoriumszwecke.)* Welche Vortheile die magnet-elektrischen Handmaschinen mit continuirlichem Strom von

Fig. 91.



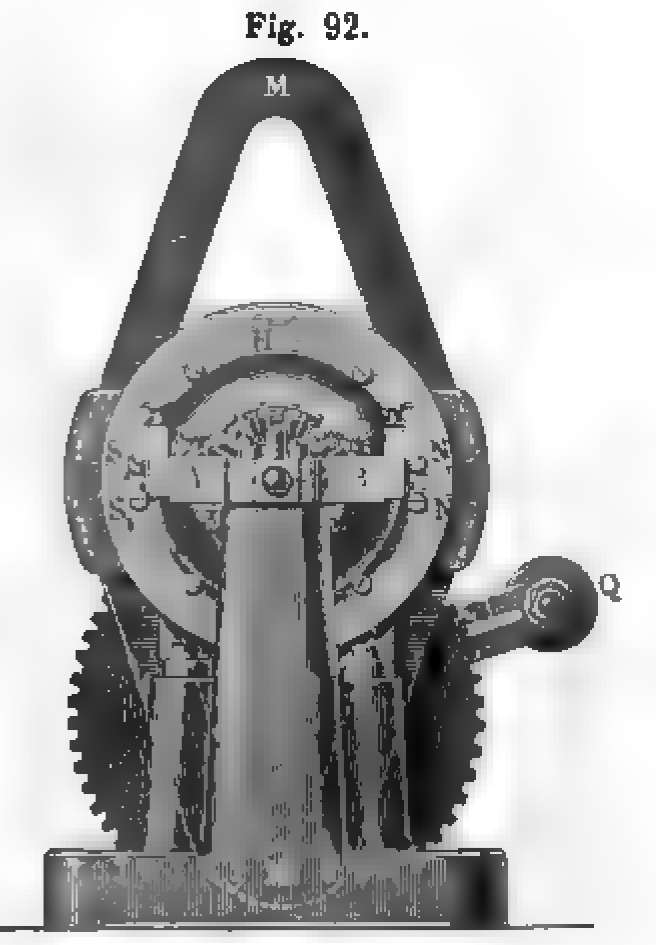
Siemens-Halske's magnet-elektrische Maschine.

gleichbleibender Richtung für den Gebrauch in physicalischen Cabinetten, in Laboratorien und bei Vorlesungen darbieten, haben wir bereits in §. 24 erwähnt. *Siemens-Halske* bauen zu diesen Zwecken die Trommelmaschine in zwei verschiedenen Formen, von denen die eine für die Kraft eines Mannes mit Zahnrad und Kurbel, die andere für einen grössern Kraftaufwand mit Riemenscheibe versehen ist.

Die Figuren 91 und 92 stellen die erste Sorte in der vordern Ansicht und im Aufrisse, die Fig. 93 die zweite Sorte in perspectivischer Ansicht dar. Der inducirend

wirkende Theil der Maschine besteht aus 50 V-förmig gestalteten Stahlmagneten MM, welche in 25 vertical stehenden und parallel an einander gereihten Paaren so befestigt sind, dass sich die einzelnen Magnete nicht berühren und alle Nordpole $N N_1$ auf der einen und alle Südpole $S S_1$ auf der anderen Seite der Maschine liegen. In dieser Anordnung bilden sowohl die 50 Nordpole als auch die 50 Südpole je zwei über einanderliegende horizontale Reihen; je zwei benachbarte Reihen gleichnamiger Pole sind durch bogenförmige Stücke weichen Eisens, welche das rechte und linke Drittel des Trommelumfanges einschliessen, mit einander verbunden. Das eine Bogenstück bildet auf der einen Seite einen einzigen, an allen Puncten nordmagnetischen Pol, das andere einen einzigen Südpol; beide Stücke wirken daher in ihrer ganzen Ausdehnung auf den in der Trommel befindlichen Eisenkern durch Influenz ein, wie das bereits in dem vorigen Paragraphen näher erläutert worden ist.

Fig. 92.

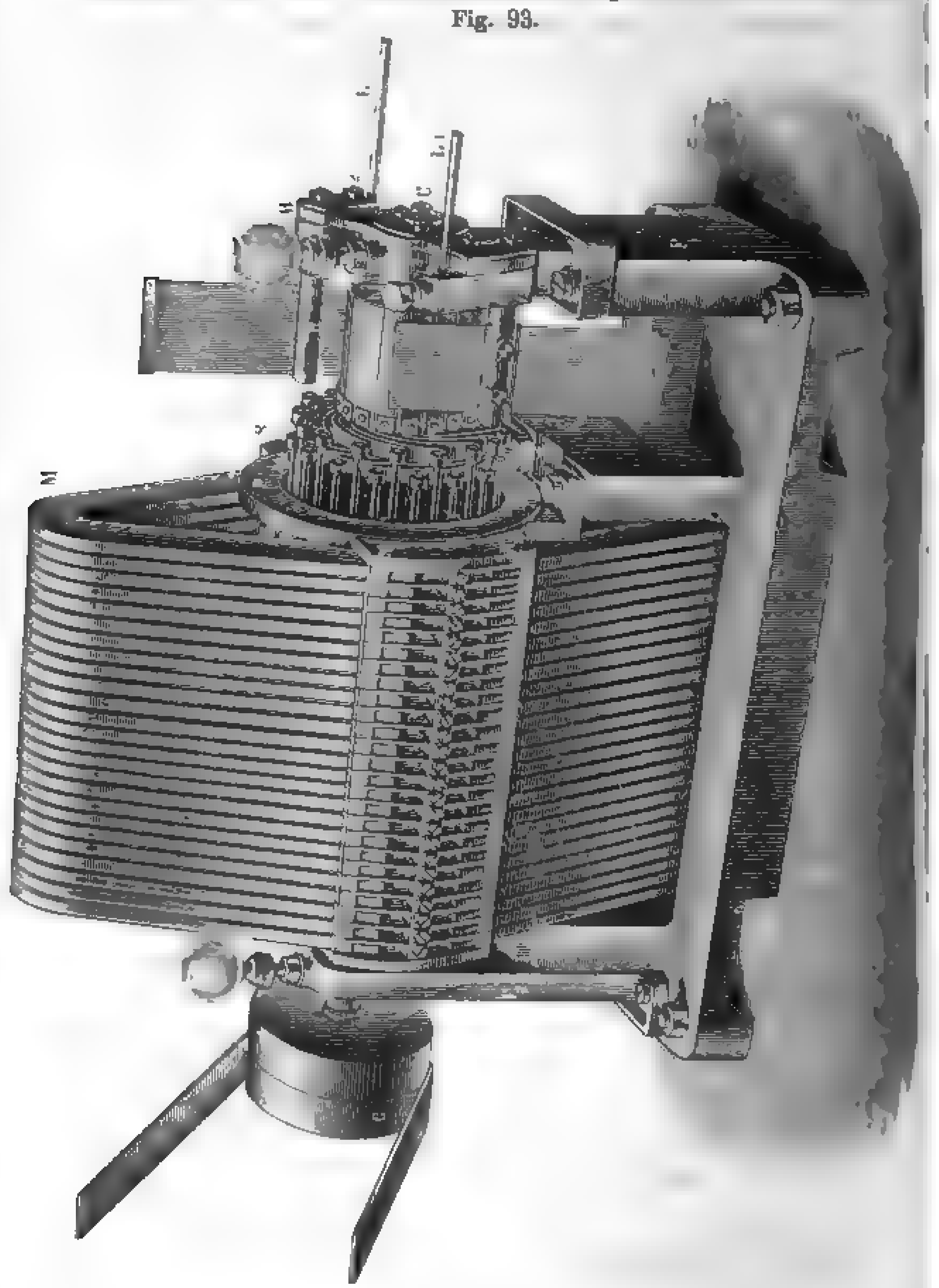


Siemens-Halske's Maschine für Handbetrieb.

Den Raum zwischen diesen beiden bogenförmigen Stücken $N N_1$ und $S S_1$ nimmt die mit Draht überzogene Trommel $H J$ (Fig. 91) ein; ihre Achse $C C$ ruht in den Lagern $F_1 F_2$ und kann mittelst der Kurbel Q und des Zahnradgetriebes G_1 und G_2 von der Hand oder durch irgend eine von einem grössern Motor abzugebende Kraft mittelst der

Riemenscheibe G (Fig. 93) in eine schnelle Umdrehung versetzt werden. Auf der der Kurbel entgegengesetzten Seite befindet sich der Stromsammler $p\,p_1$ mit der Sectoren-

Fig. 93.



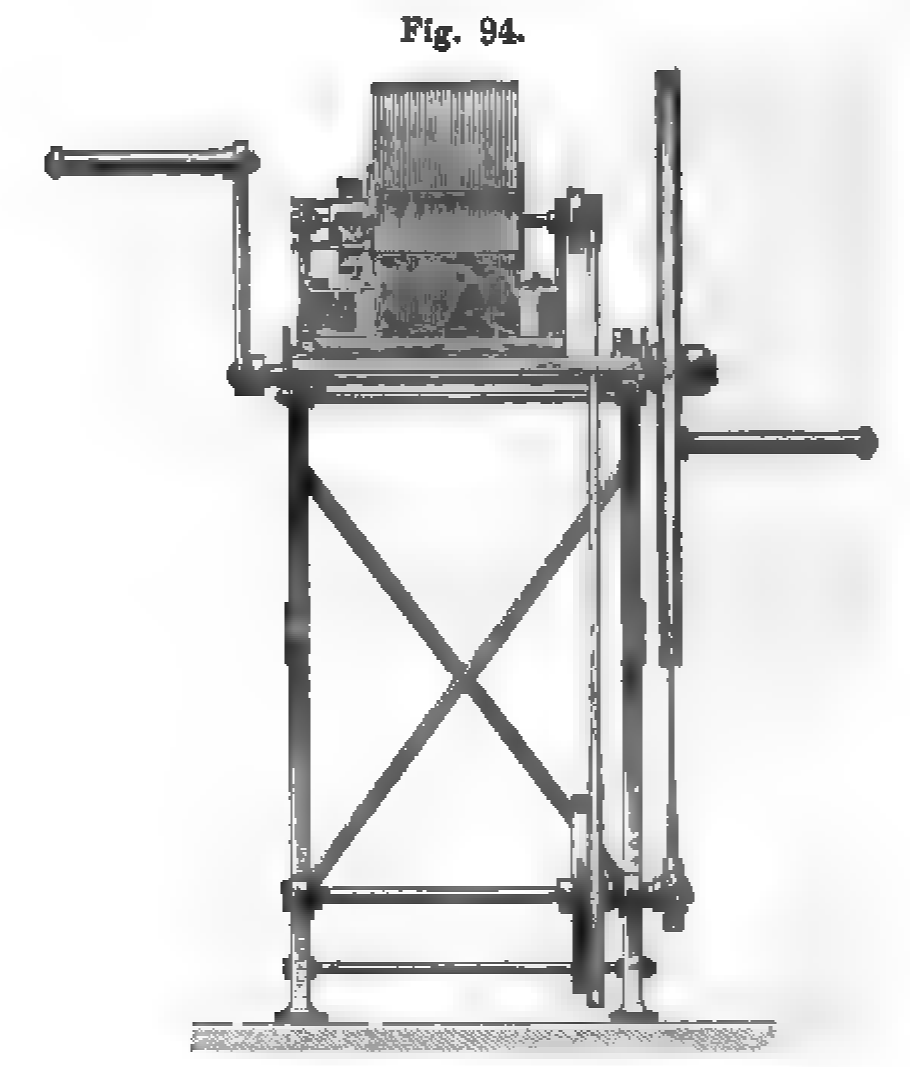
scheibe *H*, gegen deren Umfang entweder ein Paar von einander isolirte metallene Rollen *R* (Fig. 91) oder ein Paar isolirte metallene Bürsten $R R_1$ (Fig. 93) anfedern, um den in den Drahtwindungen der Trommel erzeugten Inductionsstrom aufzunehmen und über die Klemmen 2, 3 (Fig. 93) in die Leitung abzuführen.

Wir haben bei der Besprechung des Stromlaufes in dem vorigen Paragraphen die magnetisirende Wirkung der in den Drahtumwindungen inducirten Ströme auf den innern Eisenkern $n\,s\,s_1\,n_1$ unberücksichtigt gelassen. Diese Ströme aber sind derart, dass sie für sich allein an den Enden eines wagerechten Durchmessers des Kernquerschnittes zwei Magnetpole entwickeln und dadurch eine Verschiebung der in demselben Kerne von den äusseren feststehenden Magneten inducirten Pole im Sinne der Rotation der Trommel bewirken. Wenn daher die Maschine Ströme von grösstmöglicher Stärke abgeben soll, so darf die Verbindungslinie der beiden Contactrollen oder der Drahtbürsten nicht horizontal liegen, sondern sie muss ein wenig gegen den Horizont geneigt sein. Aus diesem Grunde sind daher auch diese Ableiter mit dem Lagergestelle F_1 nicht fest verbunden, sondern wie aus der Fig. 93 deutlich zu ersehen ist, an einen besonderen Träger *A B*, welcher sich verstellen lässt, isolirt befestigt. An den Enden dieses Trägers befinden sich die Klemmen 2, 3 zur Aufnahme der beiden Leitungsdrähte $L\,L_1$. Eine Figur der Abth. 12, in welcher die Betriebs- und Regulir-Apparate besprochen werden, zeigt neben dem Umschalter zu *Siemens-Halske's* Lichtmaschine auch die Neigung des Rollenträgers zu der Horizontalen für die Richtung der Drehung, welche durch den Pfeil angedeutet ist; zu einer entgegengesetzten Umdrehungsrichtung würde auch eine Neigung des Bürstenträgers nach der entgegengesetzten Seite gehören.

Die genannte Fabrik liefert die Maschinen mit Riemen-

scheibe (Fig. 93) auch in einer Form, in welcher sie durch zwei Mann in Betrieb gesetzt werden kann. Dieselbe wird dann, wie die Fig. 94 und 95 zeigen, auf einem eisernen Untersatztische befestigt, welcher zugleich als Lager für ein Schwungrad dient. Die Achse des letztern geht über den Tisch hinweg und gestattet, dass auf jeder Seite desselben

Fig. 94.



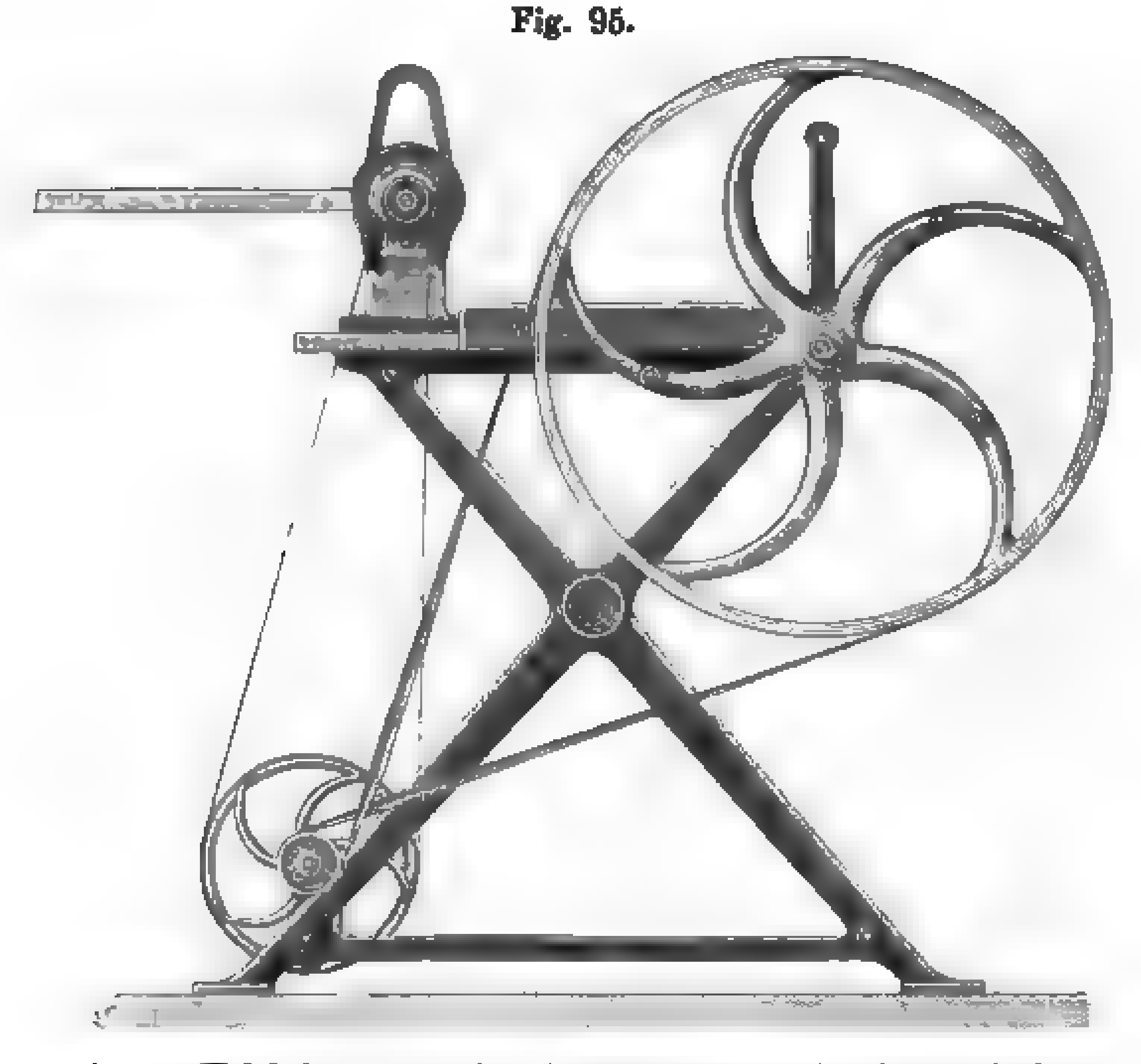
Siemens-Halske's Maschine mit Riemenscheibe für 2—4 Mann.

ein Mann mittelst einer Kurbel das grössere Rad in Umdrehung versetzt. Durch eine zweimalige Uebersetzung dieser Bewegung wird dann die Kraft der zwei Mann mit bedeutend vergrösserter Geschwindigkeit auf die Riemenscheibe und die Trommel der Maschine übertragen.

Die vorstehend beschriebene magnet-elektrische Maschine hat eine Länge von circa $44^1/_2$ cm (die Raddicke und die Kurbellänge nicht mitgerechnet), eine Höhe von 46 cm und

eine Breite von $23^1/_2$ cm; sie kommt bei einem innern Widerstande von nur 0,5 *Siemens*'scher Einheit an elektromotorischer Kraft 8 hintereinander geschalteten *Bunsen*'schen Elementen gleich, liefert aber des bedeutend geringern Widerstandes wegen eine erheblich grössere Elektricitätsmenge, als 8 *Bunsen*'sche Elemente gewöhnlicher Sorte geben

Fig. 95.



Siemens-Halske's magnet-elektrische Maschine mit Riemenscheibe.

würden, wenn sie von einem kräftigen Manne so rasch gedreht wird, dass die Kurbel zwei Umläufe in der Secunde macht. Ein 30 cm langer und $^1/_2$ mm dicker Platindraht wird mit Leichtigkeit glühend gemacht; grosse *Ruhmkorff*'sche Inductionsmaschinen, sowie elektro-magnetische Maschinen jeder Art werden durch den Strom der Maschine in regelmässigem Gange erhalten, wie denn überhaupt die Maschine für den Bedarf in physicalischen Cabinetten und

bei öffentlichen Vorlesungen eine ebenso einfache als bequeme, stets dienstbereite und kräftige Elektricitätsquelle darstellt, welche in den meisten Fällen eine galvanische Batterie entbehrlich macht.

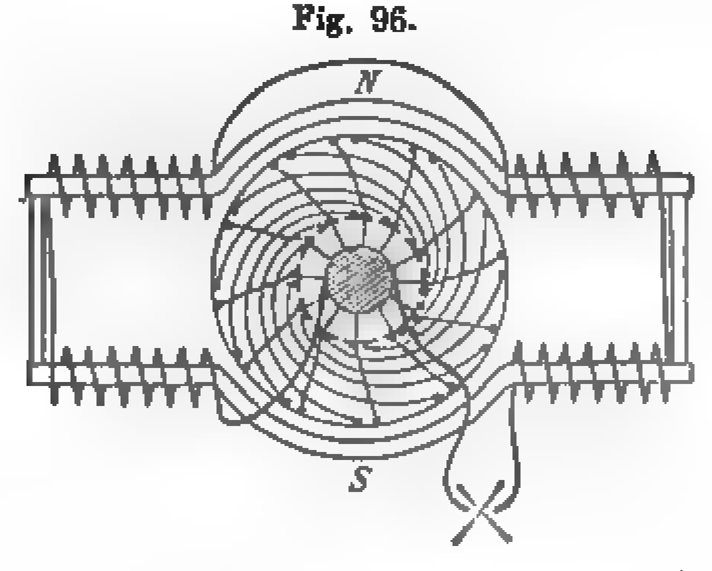
Wird die Trommel von zwei bis vier Mann am Schwungrade gedreht (Fig. 95), so erzeugt der Strom in einer kleinen elektrischen Lampe ein elektrisches Licht, welches sich zu Vorlesungszwecken noch gut verwenden lässt.

43. Die Siemens-Halske'sche dynamo-elektrische Trommelmaschine für den Grossbetrieb. *(System v. Hefner-Alteneck für elektrische Beleuchtung und galvanische Niederschläge.)* Wir haben bereits früher erwähnt, dass in metallischen Massen, die sich in einem magnetischen Felde bewegen, Inductionsströme (*Foucault*'sche Ströme) erzeugt werden, die, wenn sie nicht abgeleitet werden, sich in Wärme umsetzen und je nach den Umständen eine bedeutende Erwärmung der bewegten Metallmassen zur Folge haben. So lange daher in der vorhin beschriebenen magnet-elektrischen Maschine der eiserne Kern mit den Drahtumwindungen der Trommel sich durch das magnetische Feld der äusseren Magnetpole bewegt, sind diese Ströme nicht zu vermeiden; man kann sie nur dadurch in etwa abschwächen, dass man den Kern nicht aus massivem Eisen, sondern aus Eisendrahtwindungen herstellt. Bei denjenigen Maschinen aber, welche zur Erzeugung von sehr grossen Elektricitätsmengen gebaut und daher nach dem dynamo-elektrischen Princip eingerichtet werden, würden die genannten *Foucault*'schen Ströme eine bedeutende Erwärmung der Maschine im Gefolge haben, und ausserdem würde zum Drehen des durch die starken Elektromagnete kräftig polarisirten Eisenkernes eine erhebliche Kraft erforderlich sein, für welche kein Aequivalent an nutzbarer Arbeit zu finden wäre. Diese Erwägungen mussten den Erfinder bestimmen, in den für den Grossbetrieb, also auch speciell für die elektrische Beleuch-

tung bestimmten dynamo-elektrischen Maschinen, den im Innern der Trommel befindlichen Eisenkern festzulegen und ihn an der Umdrehung der Trommel nicht Theil nehmen zu lassen. Selbstredend wird die Construction der Trommel und ihre Lagerungsweise dadurch bedeutend verwickelter, und zwar um so mehr, als immer darauf Bedacht genommen werden muss, dass sich der lange Trommelmantel mit seinen Drahtumwindungen in dem möglichst engen Raume zwischen den Polarmaturen der Elektromagnete und dem festliegenden innern Kerne durchzudrehen hat, ohne an irgend einem Puncte anzustossen.

Die Fig. 96, 97 und 98 zeigen die Einzelheiten einer so eingerichteten dynamo-elektrischen Maschine nach

Fig. 96.

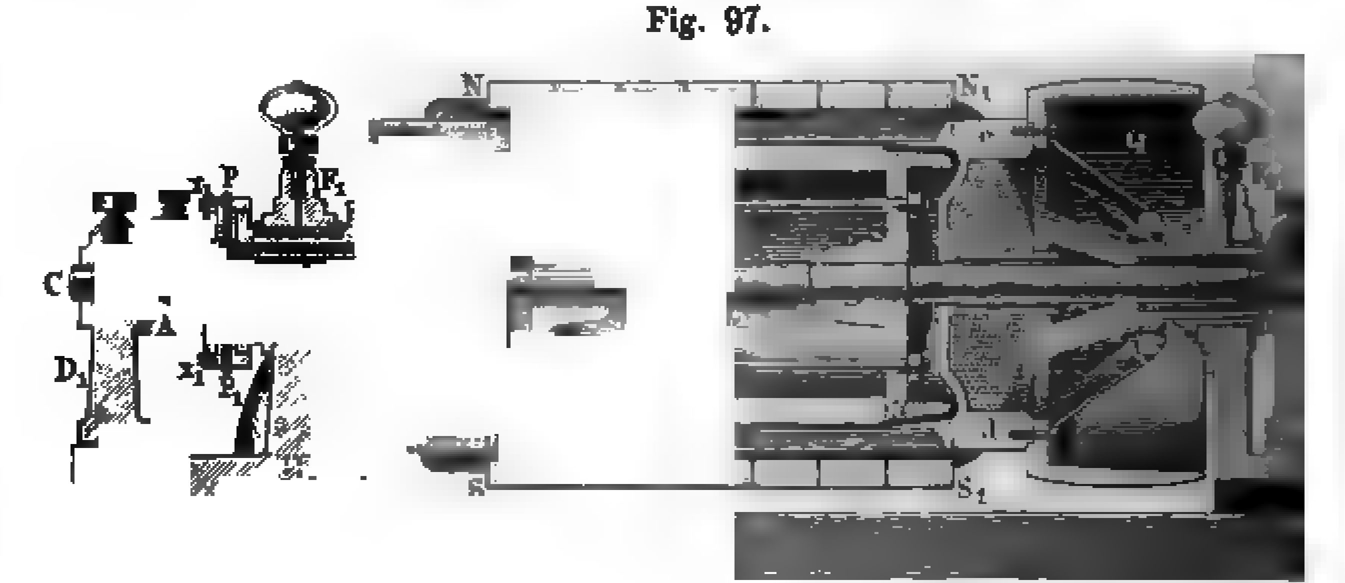


Durchführung des dynamo-elektrischen Princips bei der S.-H. Maschine.

v. Hefner-Alteneck's System, und zwar in schematischer Darstellung, im Längsschnitte der Trommel und der Seitenansicht der ganzen Maschine. *a b c d* ist die Trommel von dünnem Neusilberblech, auf deren Mantel der Draht in vielen Windungen und in acht einzelnen Stücken nach der im §. 41 beschriebenen Weise aufgezogen ist. Auf jeder Stirnfläche der Trommel ist ein hohles Rohr aufgesetzt; beide Rohre bilden die Achse der Trommel und liegen in den mit Schmierbüchsen versehenen Lagern F_1 und F_2. Durch die hohlen Rohre tritt eine in den Ständern D_1 und D_2 fest-

geschraubte Eisenstange CC hindurch und in das Innere der Trommel hinein, woselbst der durch zwei aneinander geschraubte Scheiben zusammengehaltene Eisenkern $n\, n_1\, s_1\, s$ auf der Eisenstange CC befestigt ist. Auf ihrer Aussenseite ist die Trommel an zwei gegenüber liegenden Stellen auf etwa je einem Drittel des Umfanges der ganzen Länge nach von zwei gebogenen Eisenarmaturen $N N_1$ und $S S_1$ (Fig. 97 und 98) umgeben. Dieselben gehen so nahe als

Fig. 97.



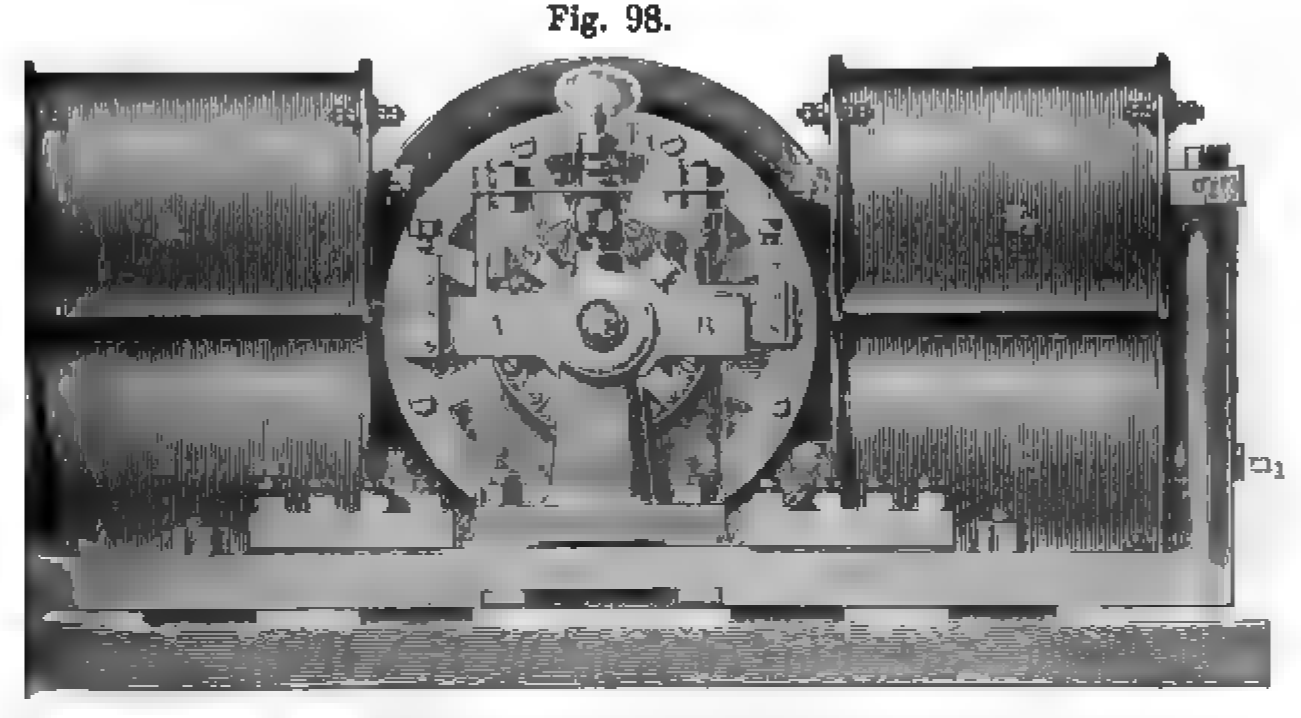
Siemens-Halske's dynamo-elektrische Grossmaschine. (Die Trommel.)

möglich an den Trommelmantel heran und bilden mit dem feststehenden innern Hohlkerne $n\, s\, s_1\, n_1$ einen engen ringförmigen Raum, das magnetische Feld, in welchem sich die Trommel mit ihren Drähten $a\, b\, c\, d$ frei drehen muss. In das oben erwähnte, in F_1 gelagerte vordere hohle Achsenrohr der Trommel ragt ausserdem noch ein Hohlzapfen hinein, der auf der Stirnfläche der Trommel befestigt ist, damit zwischen ihm und dem hohlen Achsenrohre die Drahtenden ee der einzelnen Drahtpartieen nach dem an dem Hohlzapfen angeschraubten Stromsammler $p\, p_1$ hindurchgeführt werden können.

Die beiden bogenförmig gestalteten Eisenarmaturen $N N_1$ und $S S_1$ (Fig. 98) erhalten ihren Magnetismus dadurch, dass sie in geradlinige Schenkel $N\, o$, $S\, m$ und $N_1\, o_1$, $S_1\, m_1$ aus-

laufen, welche die Kerne der Elektromagnete $E\,E$ und $E_1\,E_1$ bilden, während andererseits die Enden $o\,m$ und $o_1\,m_1$ dieser Kerne durch starke Zwischenstücke $o\,m$ und $o_1\,m_1$ von weichem Eisen verbunden sind, welche zugleich als Seitentheile des gusseisernen Maschinengestelles dienen. Auch hier sind die Drähte der beiden hufeisenförmigen Elektromagnete E

Fig. 98.



Siemens-Halske's dynamo-elektrische Grossmaschine.

und E_1 derartig aufgewunden, dass gleichnamige Pole einander zugekehrt sind und demnach alle Puncte des diese Pole verbindenden Eisenbogens eine und dieselbe Polarität zeigen. Auf diese Weise wird die Trommel und der innere Eisenkern auf etwa ²/₃ ihres Umfanges und der ganzen Länge nach von den feststehenden äusseren Magnetpolen $N\,N_1$ und $S\,S_1$ umfasst und dadurch, wie vorhin gesagt, ein sehr ausgedehntes magnetisches Feld von um so grösserer Intensität gebildet, je kräftiger die erzeugten Inductionsströme und die durch diese letzteren entwickelten Pole der Elektromagnete sind.

Behufs Durchführung des dynamo-elektrischen Princips werden die Drahtwindungen der beiden Elektromagnete $E\,E$ und $E_1\,E_1$ in die von den Stromsammel-Bürsten oder von

den Contactrollen auslaufenden und nach aussen führenden Leitungsdrähte eingeschaltet, so dass der von der Maschine erzeugte Strom sowohl die Drahtpartieen der Trommel, als auch die Umwindungsdrähte der Elektromagnete und die elektrische Lampe hintereinander durchläuft und beide Systeme, der Inductionsstrom der Trommel und die Pole der Elektromagnete, gegenseitig sich verstärkend bis zu einer maximalen Grenze auf einander einwirken, welche durch die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel, die Masse des Eisens in den Eisenkernen der Magnetschenkel und die Drahtwickelungen bedingt ist.

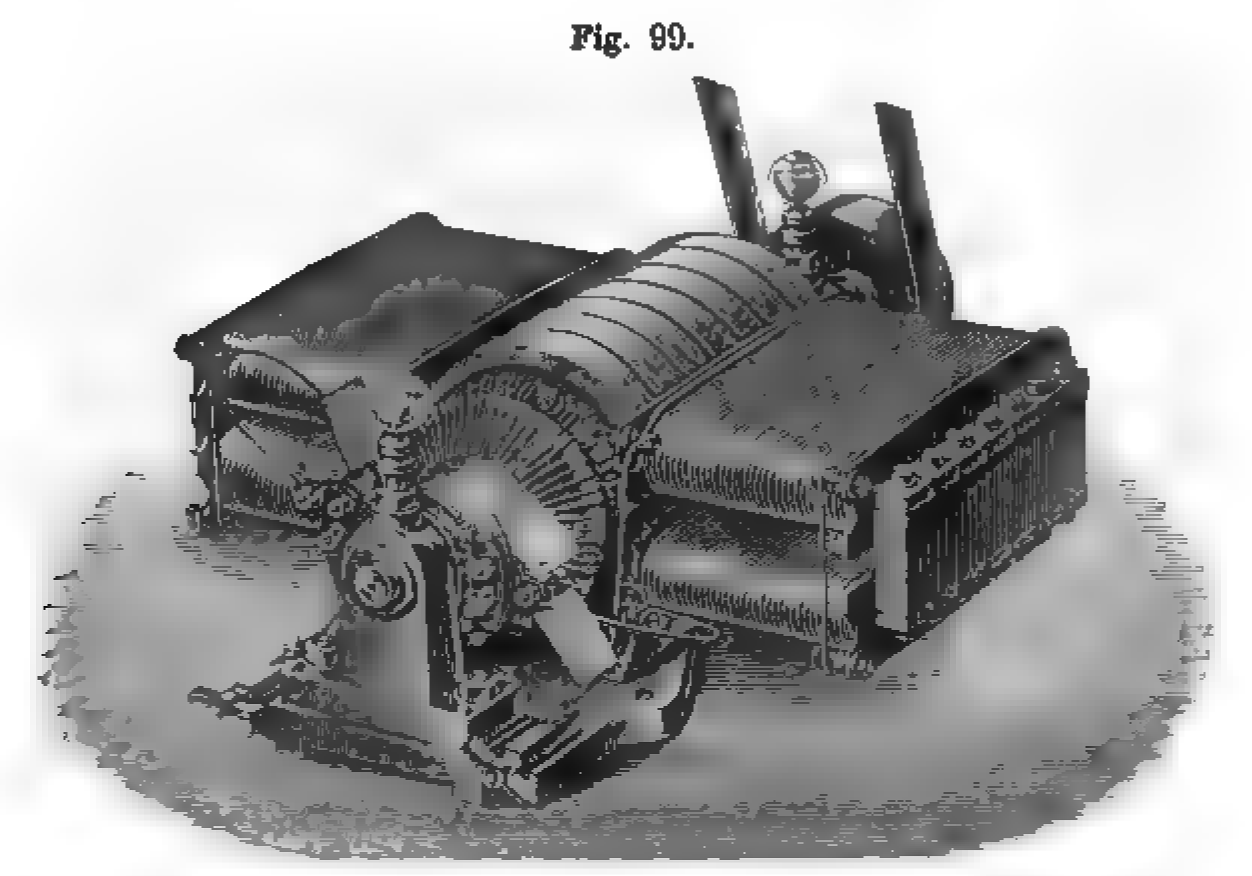
Die Maschine, welche in den Figuren 97 und 98 dargestellt worden ist, hat eine Länge von etwa 110½ cm bei 32 cm Höhe und 46½ cm Breite, und liefert bei 450 Umläufen der Trommel in der Minute, wobei zu ihrem Betriebe sechs Pferdekräfte erforderlich sind, ein elektrisches Licht von 14000 Normalkerzen. Der von ihr erzeugte Strom vermag sogar einen Kupferdraht von 1 mm Dicke und 12 m Länge in Rothglühhitze zu versetzen.

Die Maschinen von mittlerer und kleinster Grösse werden ausschliesslich wegen der damit verbundenen Vereinfachung der Construction so gebaut, dass der Eisencylinder mit den Windungen fest verbunden ist und mit denselben umläuft. Die Feststellung dieses Cylinders dagegen ist dann angezeigt, wenn ein sehr häufiger Polwechsel eintritt und wenn es auf die äusserste Ausnutzung der Arbeitskraft ankommt, was in der Regel nur bei grösseren Maschinen der Fall ist.

Die Figur 99 zeigt eine *Siemens-Halske*'sche dynamoelektrische Lichtmaschine (System *v. Hefner-Alteneck*) anderer Construction in perspectivischer Ansicht. Die Elektromagnete haben die plattenförmige Gestalt, wie in den Maschinen von *Wilde*. (Fig. 40.) Die Ableiter sind Metallbürsten, und die grosse Anzahl von Strahlstücken im Stromsammler zeigt, dass sich eine grössere Zahl von einzelnen

Drahtgruppen auf der Trommel befindet. Die Enden der einzelnen Drahtgruppen, mit denen die Trommel bewickelt ist, werden unter Weglassung der Collectorscheibe ganz in der Art unter einander verbunden und zu den durch Asbestpapier isolirten Strahlstücken der Trommelachse geleitet, wie wir es bei der *Gramme*'schen Maschine beschrieben

Fig. 99.



Siemens-Halske's dynamo-elektrische Maschine.

haben; Contactrollen werden daher nicht mehr angewandt und statt derselben dienen flache federnde Bänder (Bürsten) aus versilberten Kupferdrähten als Ableiter. In jüngster Zeit werden die Maschinen, wie in Fig. 122 Abth. V zu sehen ist, in verticaler Lage gebaut, so dass dieselben weniger Raum beanspruchen.

Die kleinere Sorte dieser Maschinen ist 698 mm lang, 572 mm breit und 233 mm hoch; die Trommel allein ist 388 mm lang und enthält 28 Drahtgruppen mit einem 56theiligen Collector. Das Gewicht beträgt 115 kg, die Maximalgeschwindigkeit der Trommel 900 Touren in der Minute

und die dabei erzeugte Lichtstärke 1400 Normalkerzen. Sie erfordert zu ihrem Betriebe 1½ Pferdekraft.

Die mittlere Sorte unterscheidet sich von der vorigen nur sehr wenig in der Construction. Sie ist 757 mm lang, 700 mm breit und 284 mm hoch; die Trommel allein ist 456 mm lang und ebenfalls mit 28 Drahtgruppen bewickelt; der Collector besteht daher ebenfalls aus 56 Strahlstücken, gegen welche die Drahtbürsten anfedern. Die Maschine wiegt 200 kg und erzeugt bei der Maximalgeschwindigkeit von 700 Touren in der Minute eine Lichtstärke von 4000 Normalkerzen. Zu ihrem Betriebe sind 3½ Pferdekräfte erforderlich.

Zwei *Siemens*-Maschinen, mittlerer Grösse, neben einander geschaltet, unterlagen gleich *Gramme*'schen Maschinen[1]) einer eingehenden Untersuchung seitens der Königlich englischen Commission in Chatham, welche ihr Urtheil dahin zusammengefasst:

„Zwei *Siemens* mittlerer Grösse, neben einander geschaltet.

Vorzüge:

1. Es können bei Benutzung der einzelnen Stromerzeuger zwei Lichter erzeugt werden.

2. Die erzeugte Lichtstärke ist bedeutend grösser wie bei den anderen versuchten Maschinen, mit Ausnahme von den *Gramme, D* und *C*.

Nachtheile:

1. Das leichte Erwärmen der Drähte, wenn das Bedienungspersonal nicht sehr mit der Verwendung dieser Stromerzeuger vertraut ist, auch ist es ein Nachtheil, dass die rotirende Trommel sich stärker erwärmt als die Elektromagnete.

2. Wenn die Stromerzeuger neben einander eingeschaltet werden, so tritt leicht eine Umkehrung des Magnetismus ein, und werden dadurch grosse Störungen und Zeitverluste verursacht.

3. Ein unregelmässiges Functioniren der Lampe bewirkt starke Funkenbildung an den Bürsten und dadurch eine rasche Abnutzung des Stromsammlers und der Bürsten.

Es ist aus diesen Gründen eine grössere Erfahrung nothwendig, um mit diesen Maschinen zufriedenstellend zu arbeiten, als bei den *Gramme*'schen Maschinen erforderlich ist."

---

[1]) Vgl. p. 161.

An die Lichtmaschine älterer Construction (Fig. 99) schliesst sich in ihrem Aussehen die

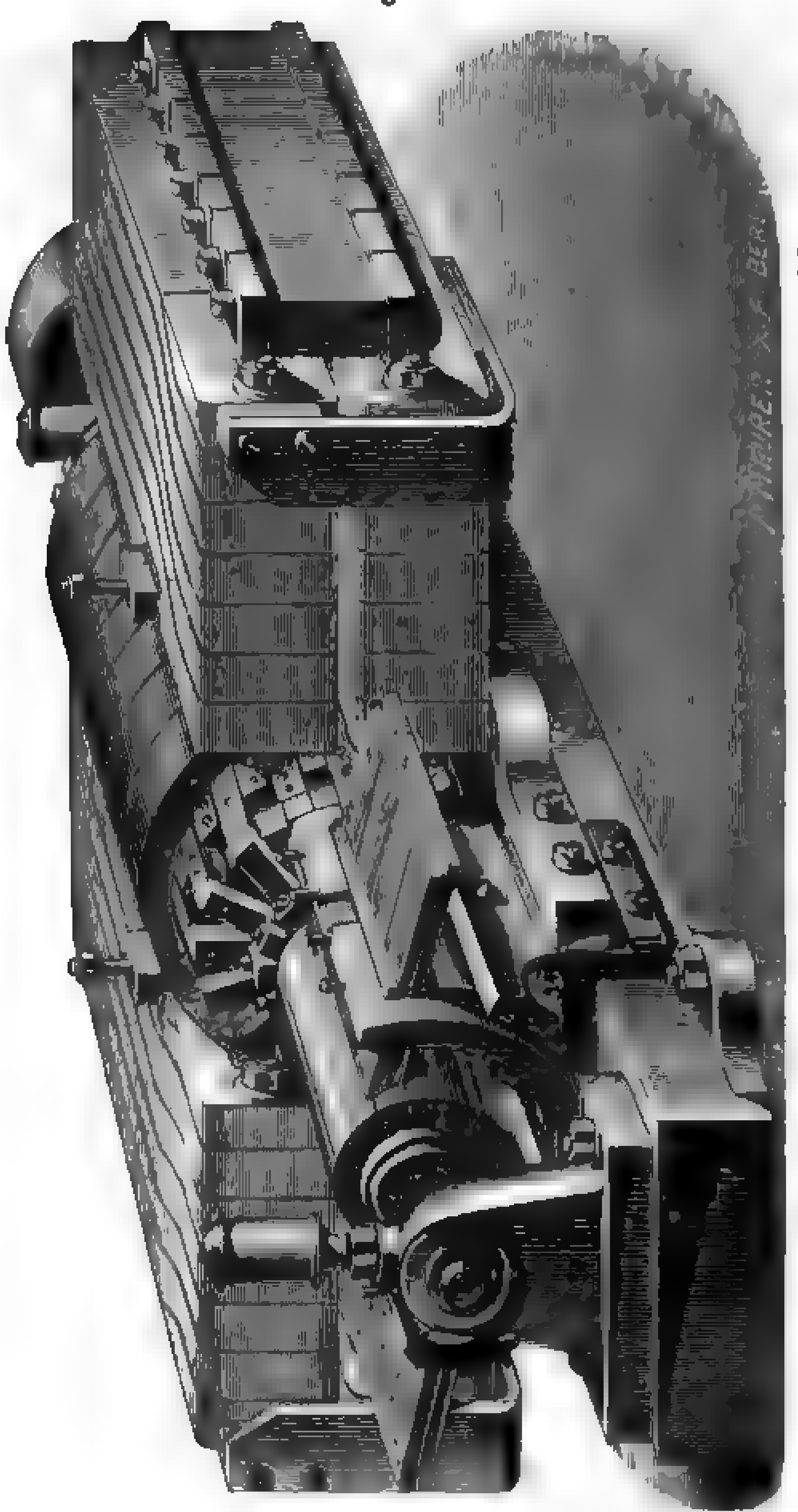
44. Dynamo-elektrische Maschine für Rein-Metallgewinnung von Siemens & Halske an, Fig. 100; sie verkörpert dasselbe Princip wie jene; nur die Zahl, Stärke und Herstellungsweise der Umwindungen ist eine ganz andere. Aus früheren Bemerkungen folgt, dass bei ihr verhältnissmässig nur wenige, aber sehr dicke Umwindungen vorhanden sein müssen. Diese sind daher aus dicken viereckigen Kupferbarren hergestellt; der Leitungsquerschnitt einer jeden Umwindung der Elektromagnete beträgt z. B. 13 qcm. Die Schenkel derselben tragen bei einer Umwindungslage nur 7 Umwindungen; auch der Cylinder ist nur mit einer Leitungslage bedeckt, wobei die Ueberkreuzungen an den Stirnflächen durch eigenthümlich geformte Kupferstücke von entsprechend grossem Querschnitte hergestellt sind. Die Verbindungen mit den Sectoren des Stromsammlers sind durch starke kupferne Winkel bewerkstelligt. Die Isolationen zwischen den einzelnen Umwindungen sind aus unverbrennlichem Asbest hergestellt. Daher kann die Leistungsfähigkeit der Maschine so hoch gesteigert werden, dass sogar die so dicken Leitungstheile ohne Gefahr für die Maschine sehr heiss werden dürfen. Drei dieser Maschinen befinden sich bereits in dem Königlichen Hüttenwerk zu Oker i. H. in unausgesetztem Betrieb; eine jede liefert täglich 5—6 Centner Kupfer bei Verbrauch von 8—10 Pferdekräften.

Siemens & Halske liefern auch kleinere Maschinen dieser Art, welche für die Bedürfnisse der Galvanoplastik bestimmt sind und diesen entsprechend verschiedene Schaltung und Wickelung erhalten.

Vielfache Erwähnung findet in der neuesten Zeit die

45. Lichtmaschine von Weston (H. G. Möhring in Frankfurt a. M.), welche, wenn sie auch anderen Maschinen in einzelnen Theilen ähneln mag, dennoch als ein durchaus

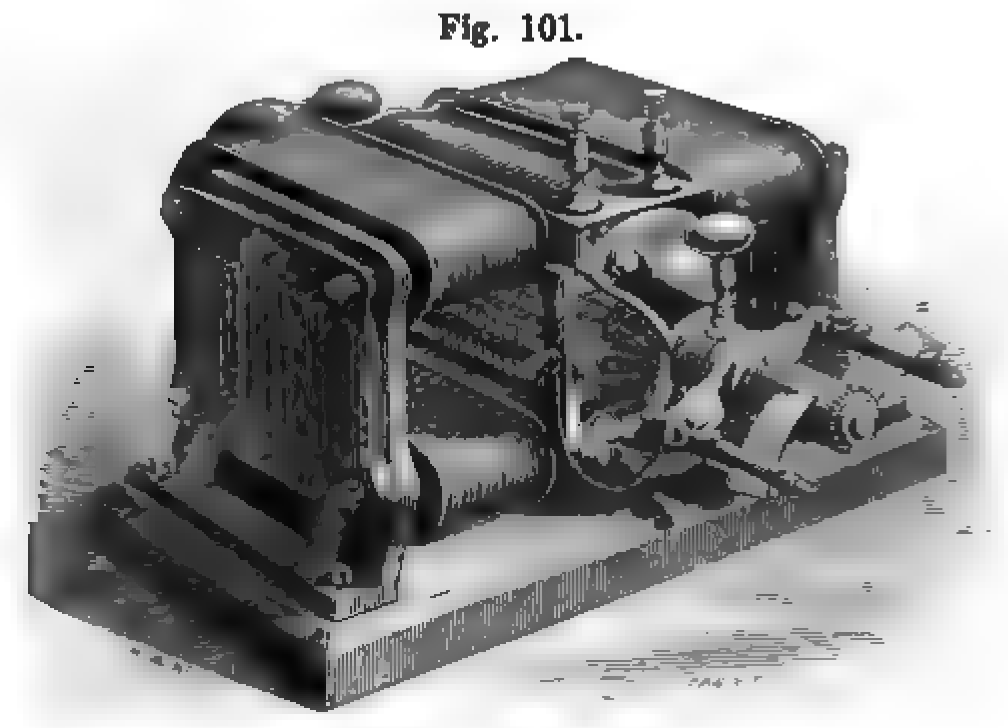
Fig. 100.



Grosse dynamo-elektrische Maschine für Rein-Metallgewinnung von Siemens & Halske.

origineller Apparat anerkannt werden muss. Bei dem alten Modell (Fig. 101) verwandte *Weston* zur Herstellung der Elektromagnete Guss- und Schmiedeeisen. Aus letzterem waren die bogenförmig gestalteten Armaturen ($N\,N_1$ und $S\,S_1$, Fig. 98) verfertigt, aus Gusseisen die eigentlichen Kerne der Elektromagnete. Diese waren einerseits an verticalen,

Fig. 101.



Weston's Lichtmaschine.

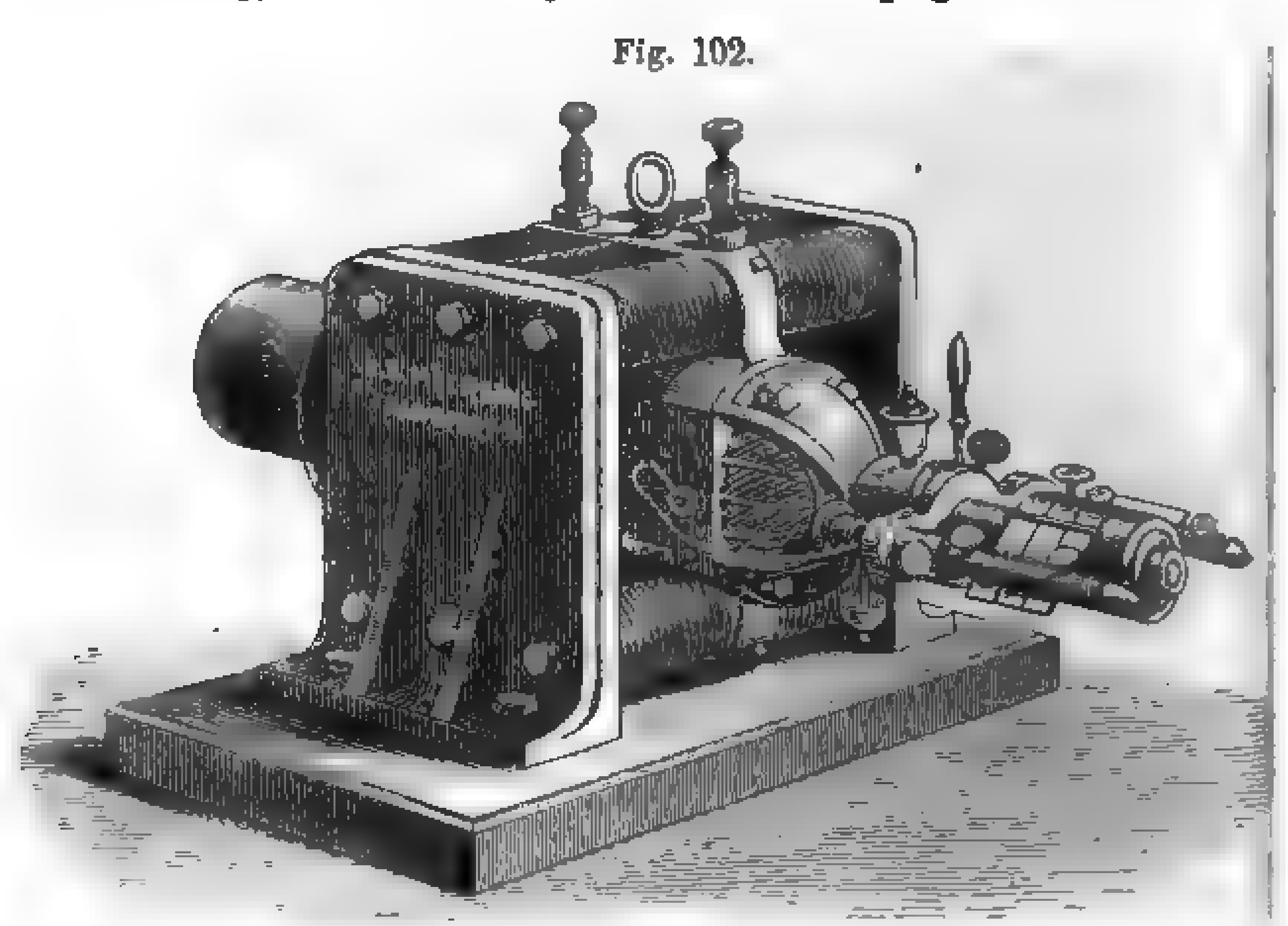
durchbohrten Trägern befestigt und andererseits mit den erwähnten Armaturen fest verbunden, welche aus mehreren einzelnen, durch gleichmässige Zwischenräume von einander getrennten Platten bestanden. Diese Anordnung, verbunden mit der Durchbohrung der verticalen Träger, der Entfernung der Elektromagnete sowie der eigenartigen Construction des Inductors bedingte eine gute Ventilation, welche eine zu grosse Erhitzung der einzelnen Theile ausschloss.

Noch mehr ist dieses der Fall bei dem neuen Modell (Fig. 102), welches durch die Anordnung der Elektromagnete eine schwache Aehnlichkeit mit der in Fig. 67 abgebildeten Form der *Gramme*'schen Maschine besitzt. Die Elektromagnete bestehen aus je sechs cylinderförmigen Magneten, und zwar sind sechs derselben, welche in einem oberen Pol-

stücke sich vereinigen, oberhalb des Inductors, sechs andere aber, welche ein unteres Polstück verbindet, unterhalb des Inductors so angebracht, dass die beiden Polflächen entgegengesetzte Polarität haben.

Die Spiralen der Magnete bilden eine ununterbrochene Leitung, welche dem dynamischen Princip gemäss der vom

Fig. 102.



Maschine Weston-Möhring.

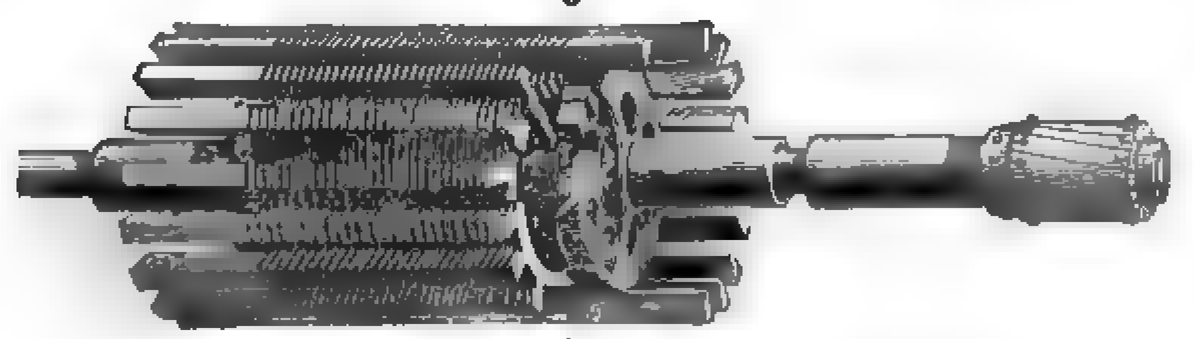
Inductor erzeugte Strom durchfliessen muss, um andererseits wiederum ein kräftiges magnetisches Feld zu erhalten, in welchem der Inductor mit einer Geschwindigkeit von etwa 900 Touren per Minute sich bewegt.

Diejenigen Theile der Polstücke, welche den Inductor umschliessen, sind nicht wie bei der *Gramme*'schen Maschine fest und zusammenhängend, sondern bestehen aus einer Reihe von Zungen, welche bei den meisten Maschinen von ungleicher Grösse sind, derart, dass die Enden derselben auf beiden Seiten der Armatur ellipsenförmige Figuren bilden.

Weston beweist, dass durch diese Anordnung eine grössere Regelmässigkeit des Stromes erzielt wird, indem die Induction der Magnete auf die Spiralen des Inductors nicht gleichzeitig in allen Theilen eines Drahtes, sondern von seiner Mitte aus zu den Enden hin und umgekehrt erfolgt. Dieses erinnert an eine Neuerung *Trouvé's*, welcher den *Siemens*'schen Inductor dadurch zu verbessern strebte, dass er die Drähte nicht der Achse parallel, sondern in einer Spirale anordnete.

Die Schlitze in den Polstücken, wodurch diese in Zungen getheilt werden, haben einen zweifachen Zweck. Zunächst

Fig. 103.



Weston's Armatur.

verhindern sie, dass in den Polstücken durch Induction des Inductors Gegenströme entstehen; dann aber wird durch diese Anordnung die Ventilation des Inductors und des magnetischen Feldes wesentlich gefördert und so die Maschine vor Ueberhitzung gesichert.

Der Inductor der *Weston*'schen Maschine (Fig. 103) hat eine sehr eigentümliche Form und ist, obgleich er, umwickelt und an Ort und Stelle befestigt, dem *Siemens*'schen ähnlich sieht, von dem letzteren durch die Construction des Eisenkernes vollständig verschieden. Der Kern des Inductors ist nämlich aus einer Anzahl Scheiben zusammengesetzt, welche aus Eisen gestampft und möglichst dünn angefertigt sind, damit in denselben der Wechsel der Polarität rasch erfolgen kann. Sie sind einem Speichenrade zu vergleichen, welches auf dem Umfange 16 vorspringende Zähne und

ebenso viele Einschnitte hat. Der Kern wird durch Aneinanderreihen von 36 dieser Scheiben auf der Triebwelle gebildet; doch sind die einzelnen Scheiben durch kleine Einlagen von einander getrennt, so dass sich zwischen denselben Lufträume befinden. Da die Scheiben so fixirt sind, dass die zahnartigen Erhöhungen gerade Linien bilden, so gleicht das Ganze einem Cylinder, welcher der Länge nach von Rinnen durchzogen ist, deren Wände einander parallel laufen und gleich weit von einander entfernt sind. Der so gebildete Kern wird schliesslich mit halbkugelförmigen Endstücken geschlossen, welche mit ihrem Rande eben den Boden der Rinnen berühren.

In die letzteren — 16 an Zahl — kommen nun die Drähte zu liegen; die Spiralen sind ähnlich wie bei dem *Siemens*'schen Inductor gewunden, d. h. der Draht durchläuft eine Rinne, biegt über die Kuppel und kehrt durch die entsprechende Rinne auf der anderen Seite zurück. Dabei erlaubt aber die eigenthümliche Construction des Inductors sowie der Polflächen, dass zwischen den einzelnen Drahtwindungen fortwährend Luft zum Abkühlen circuliren kann. Während also bei der Maschine *Siemens-Halske* ein leichtes Erwärmen der Drähte eintritt, ist ein solches bei der Maschine *Weston-Möhring* fast ausgeschlossen, da die Construction der Polflächen sowie insbesondere des Inductors ausnahmsweise eine gute Ventilation des Inductors gestattet. Der Inductor ist nämlich dem Gesagten gemäss nicht nur hohl, sondern besitzt auch, da an jeder der Scheiben, aus denen er besteht, trotz der Umwicklung mit Draht 16 Oeffnungen von innen nach aussen führen, im Ganzen 576 Oeffnungen. Da ausserdem noch die Endflächen mit Oeffnungen versehen sind, so wird, während die Maschine arbeitet, ein beständiger starker Luftstrom durch den Inductor getrieben, welcher eine Erhitzung der langen Drahtwindungen der Maschine nicht aufkommen lässt. Somit muss die Haltbar-

keit und Leistungsfähigkeit der Maschine eine vorzügliche sein, diese, da nur wenig elektrische Kraft in Wärme verwandelt wird und so zur nutzbaren Lichterzeugung verloren geht, jene, da die Drähte niemals glühend werden und eine Zerstörung der isolirenden schützenden Umhüllung nicht erfahren können. Uebrigens sei bemerkt, dass die *Weston*'sche Maschine an und für sich schon desshalb keine starke Erhitzung erfährt, weil sie selbst in dem Falle, dass sie 10 *Weston*'sche Lampen speisen müsste, einen Strom von nur wenig intensiver Spannung zu liefern hat, was später zu erörtern ist. Dadurch ist zugleich ein den neuesten Erfahrungen gemäss bei der Erzeugung intensiver Ströme auftretendes Moment — die lebensgefährliche Wirkung einer zufälligen Berührung der Drähte — vermieden.

Der Stromsammler (Fig. 101, 102, 103) ist dem Princip nach den bei den *Siemens*- und *Gramme*-Maschinen angewendeten Stromsammlern ähnlich, unterscheidet sich jedoch von diesen in seiner Construction dadurch, dass die einzelnen Segmente auf der Achse spiralförmig angeordnet und durch Luftschichten anstatt durch festes Isolirmaterial von einander getrennt sind. Die spiralförmige Anordnung der den Stromsammler bildenden Kupferstreifen hat den Zweck, dass die federnden Ränder der Bürsten bei der Rotation des Stromsammlers in jeder Stellung mit zweien seiner Theile in Verbindung stehen, wodurch eine grössere Gleichförmigkeit der Stromstärke erzielt wird. Zweckmässig ist auch, dass der Stromsammler in Folge der günstigen Befestigung leicht entfernt und durch einen neuen ersetzt werden kann. Die beiden diametral gegenüberliegenden Bürsten bestehen aus 10 bis 12 elastischen Kupferplatten, welche durch Schlitze je in drei Zungen getheilt sind. Diese haben eine solche Lage zu dem Collector, dass alle Kanten des ganzen Bündels auf die unter ihnen drehenden Theile des Stromsammlers drücken.

Die Bürstenhalter sind, wie aus Fig. 102 zu ersehen ist, auf einer drehbaren Scheibe befestigt, so dass man mit der Hand die Stärke des Stromes und des magnetischen Feldes reguliren kann, indem man die Bürsten in Stellungen von grösserer oder geringerer Wirksamkeit bringt. Aehnliches erfolgt auch bei der kleineren *Maxim*'schen Maschine durch einen in der Abth. 12 beschriebenen Regulator (Fig. 104), welcher die Stromregulirung sogar automatisch vollzieht. Die kleinere

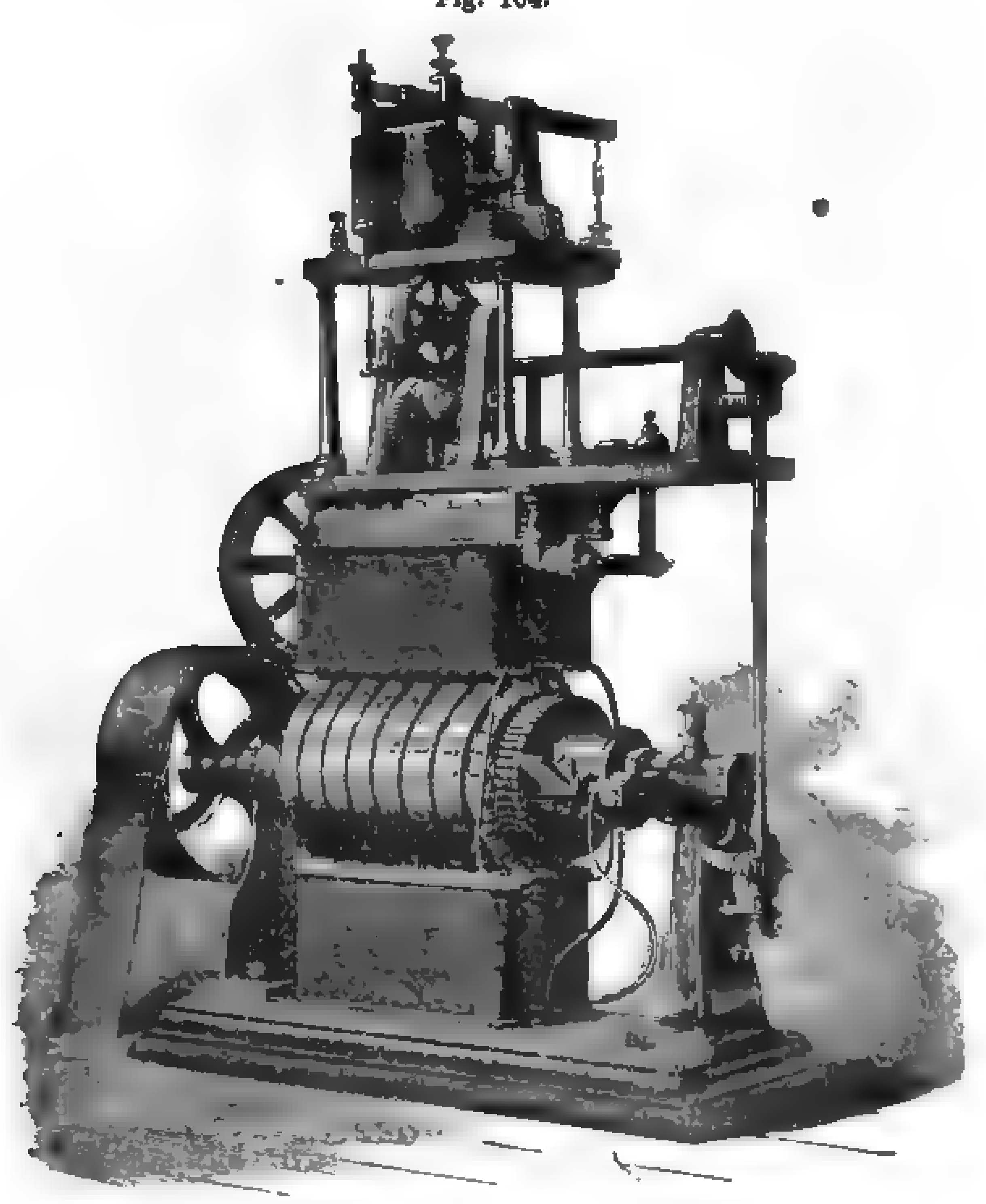
46. Maxim'sche Maschine ist ein dynamo-elektrischer Stromerreger, welcher nur dazu dient, die Elektromagnete der grösseren Maschinen desselben Systems, welche zur Erzeugung elektrischen Lichtes dienen, zu erregen. Dieselbe ist in Verbindung mit dem Regulator durch die Fig. 104 dargestellt; hiernach besitzt sie äusserlich betrachtet eine täuschende Aehnlichkeit mit dem Stromerreger *v. Hefner-Alteneck's*, sowohl nach der Lage der Elektromagnete und Anordnung des magnetischen Feldes, als auch nach der Gestalt des Inductors.[1]) Letzterer besitzt aber eine eigenartige Construction, die im Wesentlichen darauf beruht, dass man den Kern eines *Gramme*'schen Ringes in Gestalt einer eisernen Röhre anfertigt, deren Länge den Durchmesser übertrifft, diese Röhre alsdann in der in §. 30 beschriebenen Weise mit Drahtspulen umwindet, diese einzeln mit einander verbindet und von den Löthstellen aus Drähte zu den Segmenten des Stromsammlers führt. Die Spulen des *Maxim*'schen Inductors weichen jedoch dadurch von den *Gramme*'schen Spulen ab, dass bei jenen eine jede Spule aus vier Drähten gewickelt ist, so dass, obschon nur 16 Spulen den Kern umgeben, dennoch 64 Drahtenden mit den 64 Seg-

[1]) Vgl. Fig. 122; man kann sich auch eine grosse in Fig. 99 abgebildete Maschine auf die Seite gestellt denken, um so den Elektromagneten eine verticale Lage zu geben.

menten des Stromsammlers passend zu verbinden sind, so dass eine einheitliche, nirgendwo unterbrochene Leitung entsteht.

Bei den Lichtmaschinen findet sich zu beiden Seiten

Fig. 104.



Maxim'sche Maschine nebst Regulator.

der Achse der Maschine ein Stromsammler. Bezeichnen wir die Spulen mit 1, 2, 3 . . . ., so sind die Spulen ungerader Nummer mit dem ersten, diejenigen gerader Nummer hin-

gegen mit dem zweiten Stromsammler verbunden. Die so gewonnenen beiden Stromkreise können mittelst eines an der Maschine befestigten Stöpselumschalters nach Bedarf auf Quantität oder auch auf Spannung gekuppelt werden.

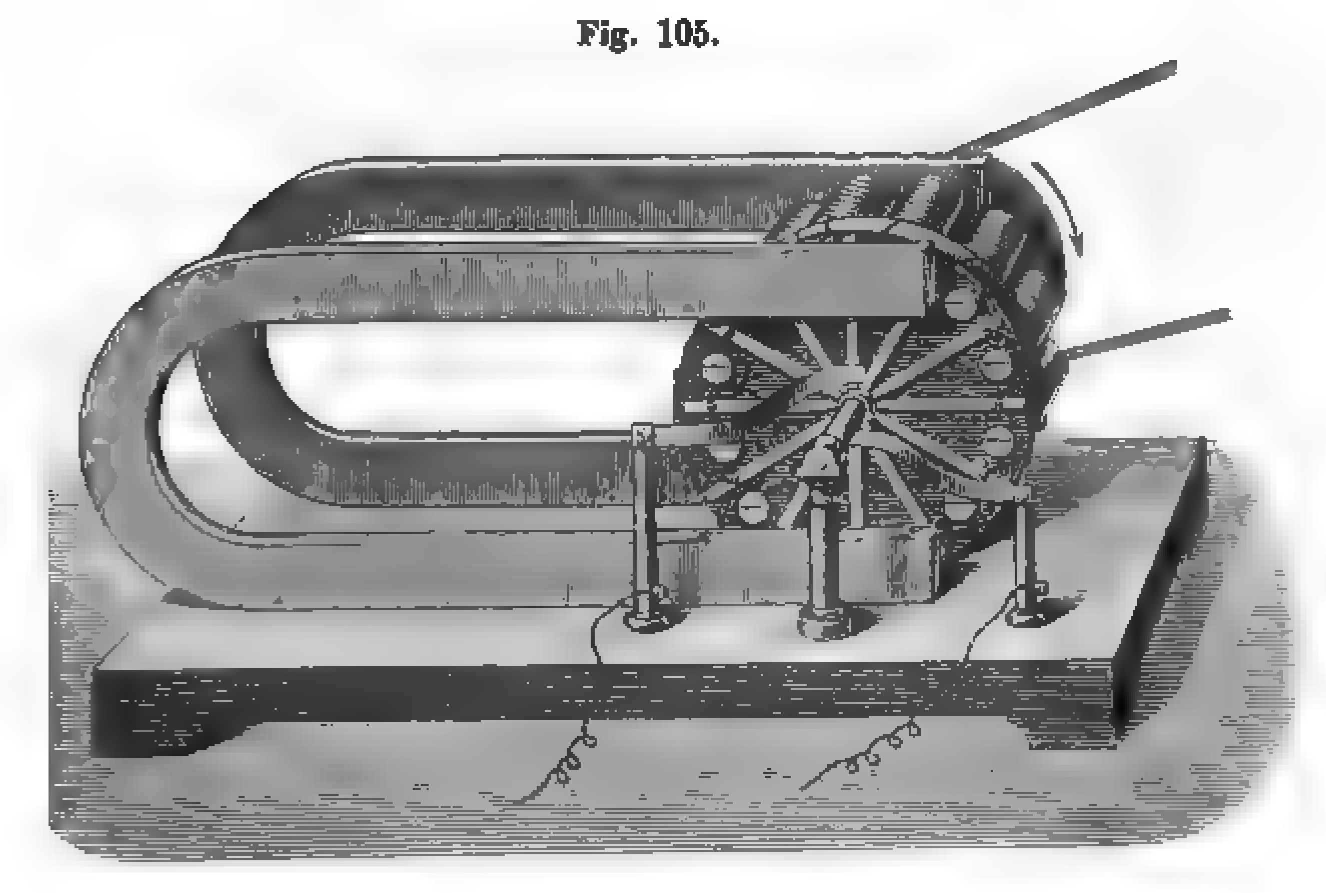
Es ist nicht zu ersehen, dass die *Maxim*'sche Maschine bessere Resultate als ihre Vorbilder, die Maschinen von *Gramme* und *Siemens*, ergeben soll — im Gegentheil lassen die Erörterungen des §. 10 und andere erkennen, dass die *Maxim*'sche Maschine dem Wirkungsgrade nach geringere Leistungen als die mit ihr verwandten Maschinen (§. 41 u. f.) unter gleichen Verhältnissen aufweisen muss. *Maxim's* Verdienst besteht unserer Ansicht nach in der Schaffung des Regulators, welcher die Stromstärke der zu leistenden Arbeit anpasst und auch mit anderen Maschinen dieser Abtheilung leicht verbunden werden kann.

In naher Beziehung zu den bisher besprochenen Maschinen stehen diejenigen von *Niaudet*, *Wallace-Farmer*, *Lontin* und *Burgin*, welche zwar keine ringförmige, aus Eisen construirte Spule oder etwa eine Trommel besitzen, jedoch dieselbe Verbindungsweise der einzelnen Spuldrähte wie bei dem *Gramme*'schen Ringe sowie das Princip der Stromableitung ohne eigentlichen Commutator aufweisen. Können die in den §§. 29—46 beschriebenen Maschinen als zu einer Familie gehörig betrachtet werden, da bei allen die Verbindungslinien der Schleifstellen der Bürsten senkrecht zu der Verbindungslinie der Magnetpole stehen, so müssen wir die in den §§. 47, 48, 49 und 50 beschriebenen Maschinen zu einer zweiten Familie gruppiren, da bei ihnen die Schleifstellen der Bürsten in der Pollinie selbst liegen. Diese Anordnung fand sich zuerst bei der

47. Magnet-elektrischen Maschine von Niaudet. Im Jahre 1872 hat *Alfred Niaudet* in Paris nach dem *Clarke*'schen

Princip eine sehr wirksame magnet-elektrische Maschine construirt, welche als eine vervielfachte *Clarke*'sche Maschine angesehen werden kann und wie die *Gramme*'sche Maschine den grossen Vorzug besitzt, dass sie gleichgerichtete Ströme in die Leitung sendet, ohne eines Commutators zu bedürfen. Wie die Fig. 105 zeigt, sind 12 mit Draht bewickelte eiserne

Fig. 105.



Die magnet-elektrische Maschine von Niaudet.

Kerne oder Inductorrollen zwischen zwei eisernen Platten befestigt und bilden in dieser Form eine Art Trommel, deren Achse in eine rasche Rotation versetzt werden kann. Bei dieser Bewegung laufen die Enden der Drahtspulen so nahe als möglich an den vier Polen zweier feststehender Stahlmagnete vorbei, wodurch bei jeder Annäherung und Entfernung einer Spule in Bezug auf einen der festen Magnetpole wegen der Doppelwirkung der letzteren auf die beiden Enden dieser Spule sehr kräftige Inductionsströme in dem Drahte der letzteren erzeugt werden.

Die einzelnen Drahtspulen stehen derart mit einander

in Verbindung, dass der Anfangspunct der Bewickelung der einen Spule mit dem Endpuncte des Drahtes der vorhergehenden Spule zusammengelöthet ist, sämmtliche Spulen also eine einzige, an keiner Stelle unterbrochene Drahtspirale darstellen, die weder einen Anfangspunct noch einen Endpunct hat. In dieser Beziehung gleicht die ganze Trommel einer galvanischen Batterie, in welcher die einzelnen Elemente auf Spannung gekuppelt, d. h. hintereinander verbunden sind. Es versteht sich von selbst, dass sowohl oben und unten wie seitlich die gegenüberstehenden Pole der Stahlmagnete entgegengesetzt polarisch sind.

Wird die Trommel in der Richtung des Pfeiles gedreht und nehmen wir an, dass sich auf der Vorderseite der Maschine unten ein Nord-, oben ein Südpol des Magnets befindet, so wird in jeder Spule links, welche sich vom Nordpole entfernt, ein Inductionsstrom von bestimmter Richtung entstehen. Der Strom behält diese Richtung bei, so lange die Spule sich vom Nordpole links herum zum Südpole bewegt, da ja die Annäherung an den Südpol dieselbe inducirende Wirkung hervorbringt wie die Entfernung vom Nordpole. Passirt die Spule nach einer halben Umdrehung oben den Südpol, so entfernt sie sich bei weiterer Drehung der Trommel vom Südpole und nähert sich rechts herumgehend dem untern Nordpole; es wird hierdurch ein Strom erzeugt, dessen Richtung dem vorigen Strome entgegengesetzt ist.

Wir gewinnen hiernach ein klares Bild von dem, was in der Maschine während der Rotation der Trommel vorgeht, wenn man einen bestimmten Moment der Bewegung ins Auge fasst. In sämmtlichen Spulen, welche zur Linken der durch die Magnetpole gezogenen verticalen Linie liegen, entsteht gleichzeitig ein Strom von einer und derselben Richtung; in sämmtlichen rechts von dieser Pollinie liegenden Spulen entsteht dagegen gleichzeitig ein Strom von

entgegengesetzter Richtung; der Summenstrom der einen Gruppe von Spulen ist genau eben so stark, als der entgegengesetzte Summenstrom der anderen Gruppe; beide Ströme heben sich daher auf und die Trommel ist stromlos, ganz so, wie es mit den Strömen zweier galvanischer Batterieen geschieht, von denen jede aus sechs Elementen besteht und welche mit den gleichnamigen Polen verbunden sind. Will man jedoch die beiden entgegengesetzten Ströme der zwei links und rechts von der verticalen Pollinie liegenden Drahtspulen sammeln und aus der Maschine ableiten, so braucht man nur zwei Metallfedern über die Löthstellen der Spuldrähte derart schleifen zu lassen, dass die Löthstellen aller Spuhldrähte gerade in dem Augenblicke mit ihnen in Verbindung treten, wo sie die Linie der Magnetpole passiren. Um dieses zu erreichen, gehen von den Löthstellen isolirte kupferne Schienen radial bis zur Achse hinab, während die zwei Schleiffedern so gestellt werden, dass sie jede dieser Schienen nur dann treffen, wenn dieselben durch die verticale Pollinie hindurchgehen. Werden dann die beiden die Federn tragenden Klemmen durch einen Schliessungsdraht, die Leitung, mit einander verbunden, so circulirt bei fortgesetzter Rotation der Trommel ein continuirlicher Strom in einer und derselben Richtung durch die Leitung.

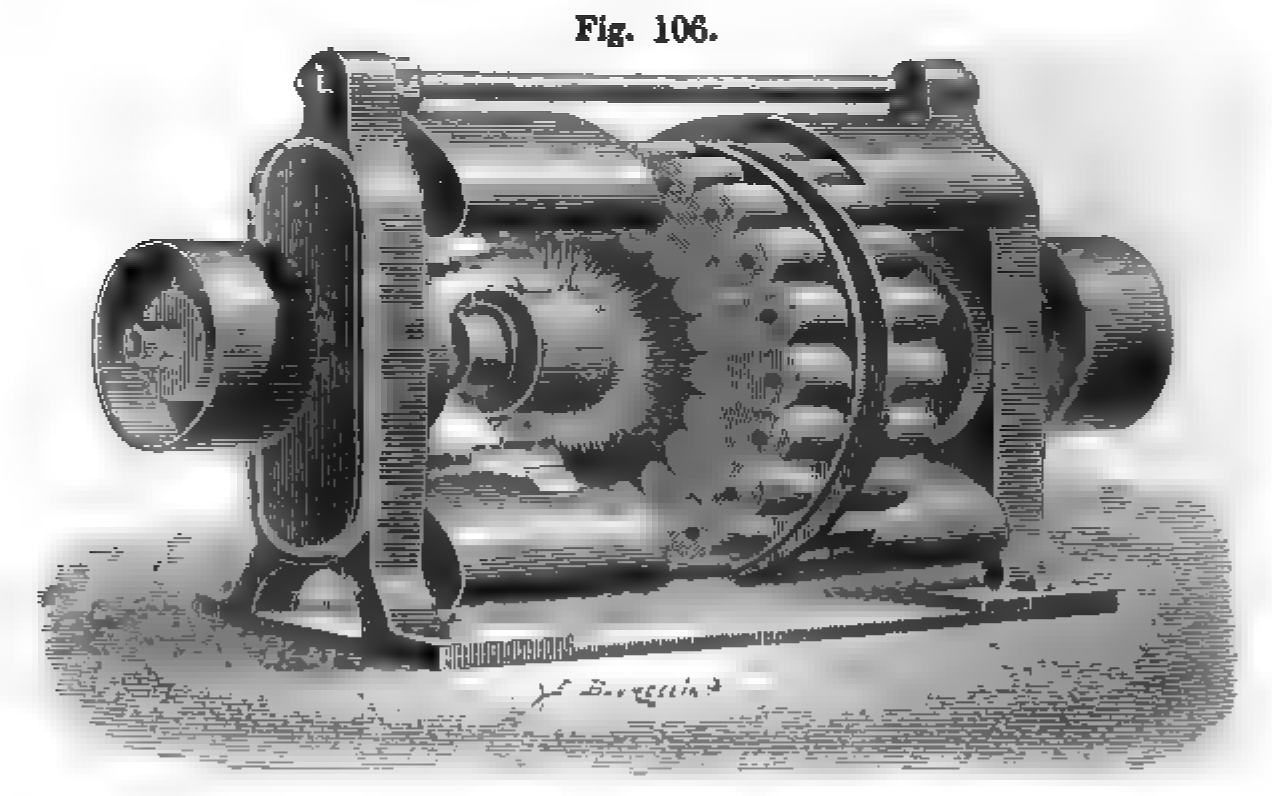
Comparative Versuche zwischen der *Gramme*'schen und *Niaudet*'schen Maschine haben gezeigt — sagt *Fontaine* —, dass bei gleicher Stärke der Magnete und der gleichen Menge Kupferdraht in den Spulen die *Gramme*'schen Maschinen einen bedeutend kräftigern Strom bei geringerem Verbrauch an Betriebskraft liefern.

Als Verbindung zweier *Niaudet*'schen Maschinen kann

48. Die Lichtmaschine von Wallace-Farmer betrachtet werden. Diese wurde zuerst (1876) von dem Ingenieur *G. Farmer* in Boston, seitdem aber von dem Mechaniker *M. Wallace* in Ansonia gebaut und gelangte in America bald

zu hohem Rufe, als der berühmte *Edison* bei seinen ersten Projecten auf dem Gebiete der elektrischen Beleuchtung sich dieser Maschine bediente und an ihr rühmte, dass sie unversiegliche Ströme von Elektricität erzeuge; nach neueren Berichten verdient die Maschine dieses Lob keineswegs und ist anderen americanischen Maschinen, wie denjenigen von *Weston* und *Brush*, entschieden unterlegen. Ein Blick auf die Abbildung derselben (Fig. 106) zeigt ferner sofort, dass

Fig. 106.



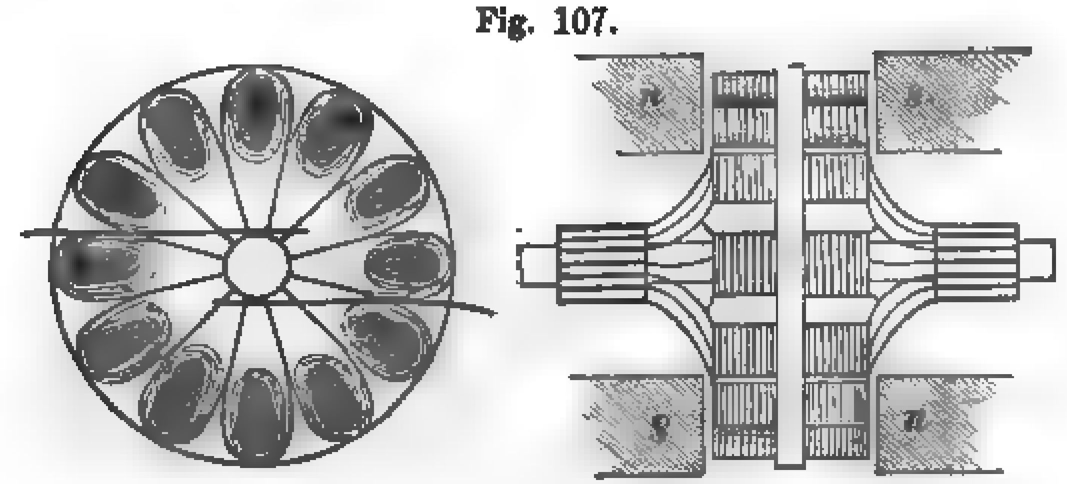
Die Lichtmaschine von Farmer-Wallace.

wir es hier im Wesentlichen mit Constructions-Principien zu thun haben, die uns schon aus den Maschinen *Gramme* und *Schuckert* bekannt geworden sind.

Die Maschine hat zwei halbflache hufeisenförmige Elektromagnete, deren entgegengesetzte Pole einander gegenüberstehen. In dem von diesen Polen gebildeten magnetischen Felde rotirt ein Doppelkranz von 50 flachen Drahtspulen, welche der Reihe nach einzeln an den Magnetpolen in sehr geringer Entfernung vorbeilaufen. Jede dieser zwei eisernen, auf der Rotationsachse befestigten Scheiben trägt sonach 25 Spulen; jede Spule besteht aus 4 einzelnen Drahtrollen,

deren Drähte der Reihe nach hintereinander verbunden sind, während zugleich von den Löthstellen je zweier aufeinanderfolgender Spulen Drähte rechtwinkelig umbiegend zu einem auf der Achse sitzenden Collector führen, wie dieses bei der Maschine *Gramme* und *Siemens* näher beschrieben ist. Jede Spule ist durchbrochen, um durch die entstehende Luftcirculation eine genügende Abkühlung der Maschine zu bewirken.

Fig. 107.



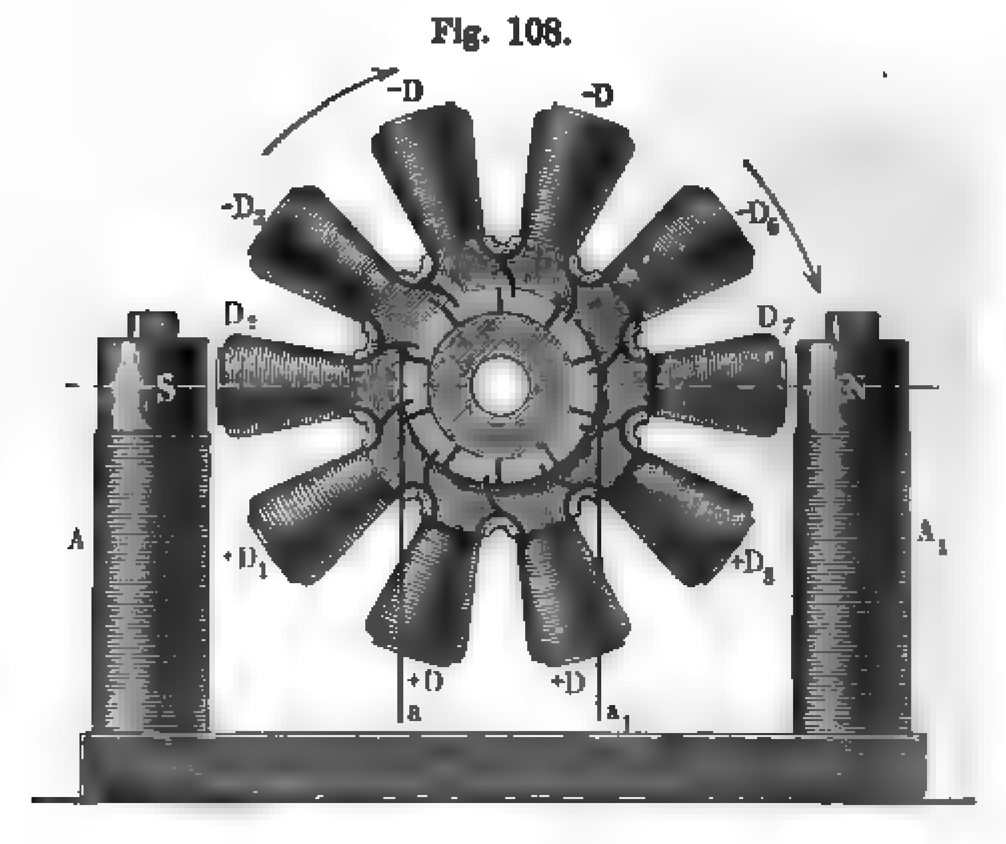
Wallace-Farmer's Inductor.

In Folge der *Gramme*'schen Anordnung des Stromsammlers bedarf die Maschine keines besondern Commutators; dieselbe liefert für jeden Spulenkranz direct ein besonderes System gleichgerichteter Ströme, die man entweder vereinigen oder einzeln verwenden kann. Die Ströme werden vom Stromsammler nach dem dynamo-elektrischen Princip zuerst zu den Elektromagneten geführt und gelangen dann erst in die Leitung. Der Constructeur rühmt an dieser Maschine das Freistehen der Drahtspulen, wodurch dieselben bei ihrer Rotation sich an der Luft rasch abkühlen könnten; allein dieses ist so wenig der Fall, dass auch bei der besten Ventilation, wenn die Maschine mit 800 Touren in der Minute arbeitet, sie sich bis zum Schmelzpuncte des Siegellacks erhitzt, wozu noch kommt, dass die Reibung der Spulen an der Luft sehr bedeutend und zur Ueberwindung derselben ein grosser Kraftaufwand, bis zu 8 Pferdekräften, erforderlich ist.

In gleicher Weise wie bei der *Nidaut*'schen Maschine erfolgt die Elektricitäts-Erzeugung bei der

49. Magnet- und dynamo-elektrischen Maschine von Lontin, welche in ihrer Constructionsweise zwischen den magnet-elektrischen Maschinen der Gesellschaft *l'Alliance* und denjenigen von *Holmes* einerseits sowie den dynamo-elektrischen Maschinen von *Gramme* andererseits steht. Die Fig. 108 zeigt die Haupttheile einer solchen Maschine.[1]) $A\,A_1$ sind

Fig. 108.



Lontin's dynamo-elektrische Maschine.

die beiden Schenkel eines kräftigen Elektromagnets, an dessen Polen die zehn Enden der sternartig um die Achse gestellten Inductorrollen D sehr nahe vorbei rotiren. Das Inductionsrad besteht aus der cylindrischen Welle P von weichem Eisen, auf welchem die eisernen Zapfen D in der Richtung der Radien der Welle befestigt sind. Das in der Figur abgebildete Rad hat zehn solcher Zapfen; die Zahl derselben lässt sich jedoch je nach dem Bedürfnisse ver-

[1]) Patentirt im Jahre 1874.

grössern oder verkleinern. Jeder Zapfen ist auf eine und dieselbe Weise mit Kupferdraht umwickelt, und zwar so, dass das Drahtende eines jeden vorangehenden Zapfens mit dem Anfange des Drahtes des nächstfolgenden verbunden ist und daher die Umwindungen aller Zapfen, wie im *Gramme*'schen Ringe, einen einzigen in sich geschlossenen Draht ohne Anfang und Ende bilden.

Die Figur zeigt nur ein Inductorrad; nichts hindert aber, auf eine und dieselbe Achse, je nach Bedarf, mehrere aufzusetzen. Von den Verbindungsstellen der Drähte je zweier aufeinander folgender Inductorrollen führen kurze starke Drähte zu kupfernen Contactstücken, welche isolirt von einander und von der Achse auf dieser befestigt sind und die dazu dienen, die durch die Rotation des Rades erzeugten Inductionsströme zu sammeln und nach aussen in die Leitung abzuführen. Letzteres geschieht durch die feststehenden Schleiffedern oder Bürsten a a_1, deren Enden auf den genannten Contactstücken aufliegen und die Ströme in der Pollinie S N aufnehmen.

Nach dem dynamo-elektrischen Princip befinden sich die Drahtumwindungen der Elektromagnetschenkel A A_1 in den Drahtwindungen des Inductorrades, so dass die Inductionsströme von a_1 zu der Drahtwindung von A_1, von hier zu dem Drahte von A und von hier endlich in die Leitung gehen, um aus derselben bei a wieder in die Maschine zurückzukehren und den Stromkreis zu schliessen. So wirken denn auch hier Inductorrad und Elektromagnet so lange gegenseitig sich stärkend aufeinander, bis ersterer den Sättigungspunct des Magnetismus erreicht hat.

Wenn bei der Drehung des Inductorrades in der Richtung des Pfeiles irgend eine Rolle, z. B. D_1, sich dem Südpole S des Elektromagnetschenkels A nähert, so entsteht in dem Drahte von D_1 ein Inductionsstrom von bestimmter Richtung (§. 8); dasselbe geschieht mit allen nachfolgenden

Rollen, welche sich unterhalb der Pollinie *S N* befinden, nur mit dem Unterschiede, dass die Ströme um so schwächer sind, je weiter die einzelnen Rollen von dem inducirenden Pole *S* entfernt sind. Entfernt sich dabei eine Rolle, z. B. D_8, von dem entgegengesetzten Magnetpole, dem Nordpole *N*, so entsteht in dem Drahte dieser Rolle ein Strom von derselben Richtung wie vorhin, und dasselbe geschieht wieder mit allen vorangehenden Rollen, welche unterhalb der genannten Pollinie liegen. Das Entgegengesetzte geschieht in Bezug auf die Richtung der inducirten Ströme bei den Rollen, welche oberhalb der Linie *S N* liegen, in welcher daher bei der Rotation des Rades Ströme erzeugt werden, welche den vorhin genannten Strömen entgegengesetzt sind. Da nun sämmtliche Drahtrollen unter einander verbunden sind und nur einen einzigen, in sich geschlossenen Draht bilden, so müssen die beiden Stromsysteme, da sie offenbar aus Strömen von gleicher Stärke und von entgegengesetzter Richtung bestehen, sich aufheben, wenn nicht auf irgend eine Weise für die rechtzeitige Ableitung derselben nach aussen gesorgt wird. In welcher Weise dieses geschehen muss, haben wir bereits bei der Maschine *Gramme* näher auseinandergesetzt, bei welcher trotz der Verschiedenheit in der Anordnung der Inductorrollen doch die Art der Stromerzeugung und der Stromrichtung dieselbe ist wie bei der Maschine *Lontin*. Auch hier entstehen in der Linie *S N* zwei elektrische Doppelpole, von denen der eine die entgegengesetzte Elektricität besitzt als der andere, und die in Fig. 23 an zwei galvanischen, mit gleichnamigen Polen verbundenen Batterieen gegebenen Erläuterungen sind auch hier anwendbar. Die beiden Ableitungsstellen für die entstehenden Inductionsströme liegen jedoch in der genannten Pollinie, in welcher daher auch die Schleiffedern a, a_1 den Sammelring P berühren müssen.

Es braucht wohl kaum angeführt zu werden, dass je

nach der Art und Weise, wie die eisernen Kerne der Elektromagnete und der Inductorrollen mit Draht umwunden werden, die Maschine für galvanoplastische Arbeiten oder für Lichterzeugung geeignet ist. Kurze und dicke Drähte oder flache kupferne Bänder geben Ströme von grosser Quantität, lange und dünne Drähte erzeugen Ströme von grosser Spannung. Haben die einzelnen aufeinander folgenden Inductorrollen Drahtwindungen von gleicher Richtung, so liefert die Maschine continuirliche Ströme von einer und derselben Richtung, wie es für galvanoplastische Arbeiten erforderlich ist; wenn dagegen diese Drahtwindungen abwechselnd entgegengesetzte Richtung haben, so liefert die Maschine *Lontin* wie die *Alliance*-Maschine Ströme von alternirend entgegengesetzter Richtung.

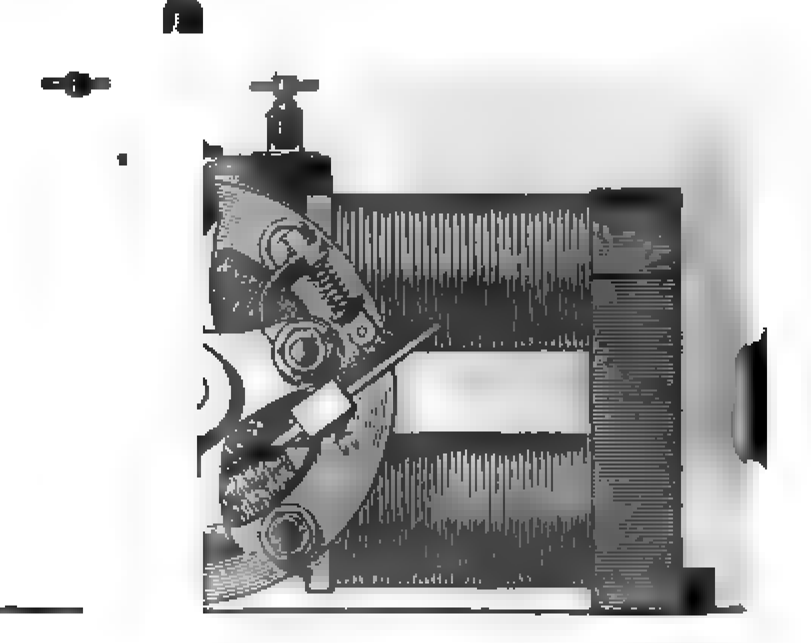
Denken wir uns die *Lontin*'sche Maschine dahin abgeändert, dass das in der Fig. 108 abgebildete Rad 16 Zapfen trägt und diese nicht in einer Ebene, sondern in 4 Ebenen so angeordnet sind, dass die Zapfen derselben Ebene ein Kreuz bilden und ein jedes der 4 so gebildeten Kreuze um $22^1/_2{}^0$ gegen das vorhergehende verstellt ist, so ergibt sich das alte Modell der

50. Elektrodynamischen Maschine von Bürgin. *Bürgin* gruppirte nämlich zur Zeit auf einer Achse acht Eisenstäbe so, dass je zwei derselben, in derselben Ebene liegend, ein Kreuz bildeten; es waren somit vier Kreuze, von denen jedes um $22^1/_2{}^0$ gegen das vorhergehende verstellt war, so dass die Enden der Stäbe die Gänge einer vierfachen Schraube bildeten. Die Enden der einzelnen auf den Eisenstäben aufgezogenen Drahtspiralen wurden alle gegen die Achse geführt, liefen dann längs der Achse fort und endeten in einen mit der Achse concentrischen, seitwärts der Kreuze liegenden Kupferring. Dieser bestand nicht aus einem Stück, sondern war durch isolirende Schichten in so viele Sectionen eingetheilt, als Eisenstäbe mit Drahtspiralen auf

der Achse sassen. Der Enddraht der Umwickelung einer Spirale mündete je in dem Kupfersegmente aus, in welchem der Anfangsdraht der nächsten Spirale (des folgenden Kreuzes) seinen Ursprung hatte, so dass die sämmtlichen Drahtspiralen mittelst dieser Segmente des Kupferringes eine ununterbrochene Leitung bildeten.

Die Maschine jedoch, welche nunmehr als *Bürgin*'sche Maschine in England wohl bekannt ist, zeigt insofern eine andere Anordnung, als an Stelle der Zapfen mehrere Kerne

Fig. 109.

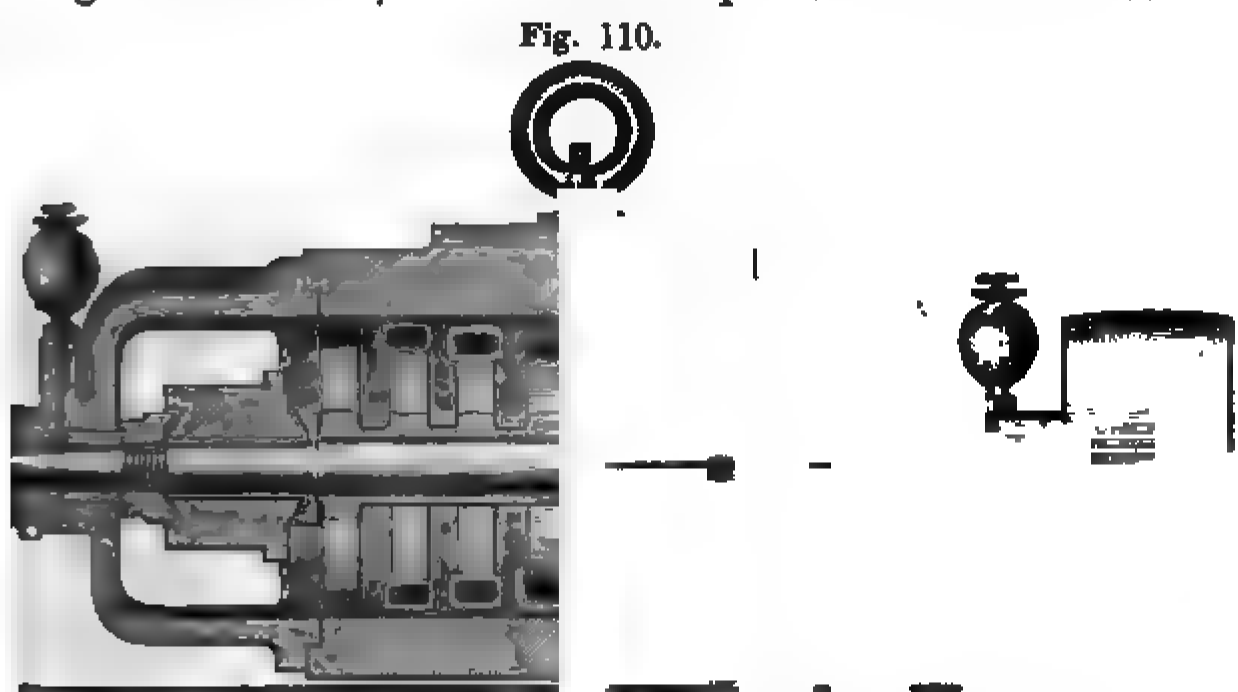


Die dynamo-elektrische Maschine von Bürgin (theilweise im Querschnitt).

von Eisen mittelst sternartiger Träger auf der Achse befestigt und mit Drahtspiralen umwunden sind. Die Construction eines solchen Inductors erhellt hinlänglich aus den Figuren 109 und 110, welche eine zur Speisung dreier Lampen dienende Maschine in verschiedenen Ansichten, theilweise der äusseren Gestalt nach, theilweise in Längsschnitten darstellen. Hiernach besteht der Inductor aus acht eisernen Kernen, welche ziemlich die Gestalt eines regelmässigen Sechseckes haben und von denen ein jeder gegen den vorhergehenden um $7^1/_2{}^0$ verstellt ist. Jeder Kern ist in gleicher Weise mit 6 Spiralen aus Kupferdraht umwunden, welche je 15m lang, 1,5mm dick und so mit einander

verbunden sind, dass, wenn man sich die 48 Spiralen in einer Ebene dargestellt denkt, das Drahtende einer vorangehenden Spirale mit dem Anfange der nächstfolgenden Spirale vereint ist und daher die Spiralen insgesammt eine einzige geschlossene Leitung bilden. Von jeder Vereinigung zweier Spiralen führt ein Draht zu einem entsprechenden Segmente des Stromsammlers, welcher ganz so wie bei der *Lontin*'sche Maschine gebildet ist und demnach aus so vielen Segmenten besteht, als der Inductor Spiralen besitzt. Letztere

Fig. 110.



Die dynamo-elektrische Maschine von Bürgin (theilweise im Längsschnitt).

sind übrigens so gewunden, dass sie mit einem Minimum von Spielraum sich zwischen den Elektromagneten bewegen können und zu diesen möglichst viel Draht in eine günstige Lage bringen. Der Widerstand der fertigen Armatur beträgt 1,6 *Ohms*.

Die Elektromagnete, von denen ein jeder mit 60m 3,5mm dickem Kupferdraht umsponnen ist, sind so ziemlich wie bei der *Siemens*-Maschine angeordnet, wonach die Armaturen den Inductor von oben und unten ganz bedecken; der Widerstand der 4 Elektromagnete beträgt 1,2 *Ohms*, so dass der Gesammtwiderstand der Maschine 2,8 *Ohms* ist.

Die elektromotorische Kraft ist auf 195 *Volts* bei 1500

Touren per Minute und 206,5 *Volts* bei 1600 Touren per Minute bei 13,16 *Ohms* Widerstand in der äusseren Leitung angegeben.

Die Art der Stromerzeugung und der Stromrichtung ist natürlich dieselbe wie diejenige der *Lontin*'schen Maschine. Die Befestigung der Bürsten, welche auf dem Collector schleifen, ergibt sich aus der Fig. 109.

Aus dieser sowie der Fig. 110 ergeben sich auch die constructiven Details, bezüglich deren wir nur erwähnen, dass die Lager wie Cylinderdeckel an beiden Enden der Magnete fest gebolzt sind. Ueberhaupt soll die Maschine von grosser Solidität sein und in dieser Hinsicht die meisten anderen Maschinen übertreffen.

Die Gesammtlänge der Maschine beträgt etwa 0,863m, ihre Höhe ca. 0,342m und ihre Breite 0,711m; das Gewicht derselben ist etwa 6,5 Centner.

Prof. *Hagenbach* stellte mit einer *Bürgin*-Maschine, welche wie fast alle seither von *R. E. Crompton* erbaut wurde, Versuche an und erhielt folgende Resultate:

Anzahl der Flammen.	Lichtstärke per Pferdekraft in N. K.	Lichtstärke jeder Flamme in N. K.
3	800	1360
4	560	700

Die bisher in dieser Abtheilung besprochenen Maschinen haben das gemein, dass der elektrische Strom in zwei Hälften in parallel geschalteten Zweigen entsteht, und dass die beiden Stromzweige in ihrer absoluten Lage fest stehen bleiben. Im Gegensatz hierzu steht die neueste dynamo-elektrische Maschine *v. Hefner-Alteneck's*, bei welcher der Strom zwar auch in zwei Stromkreisen erzeugt wird, diese aber ihre Lage fortwährend ändern und in entgegengesetzter Weise wie die Maschinenachse rotiren.

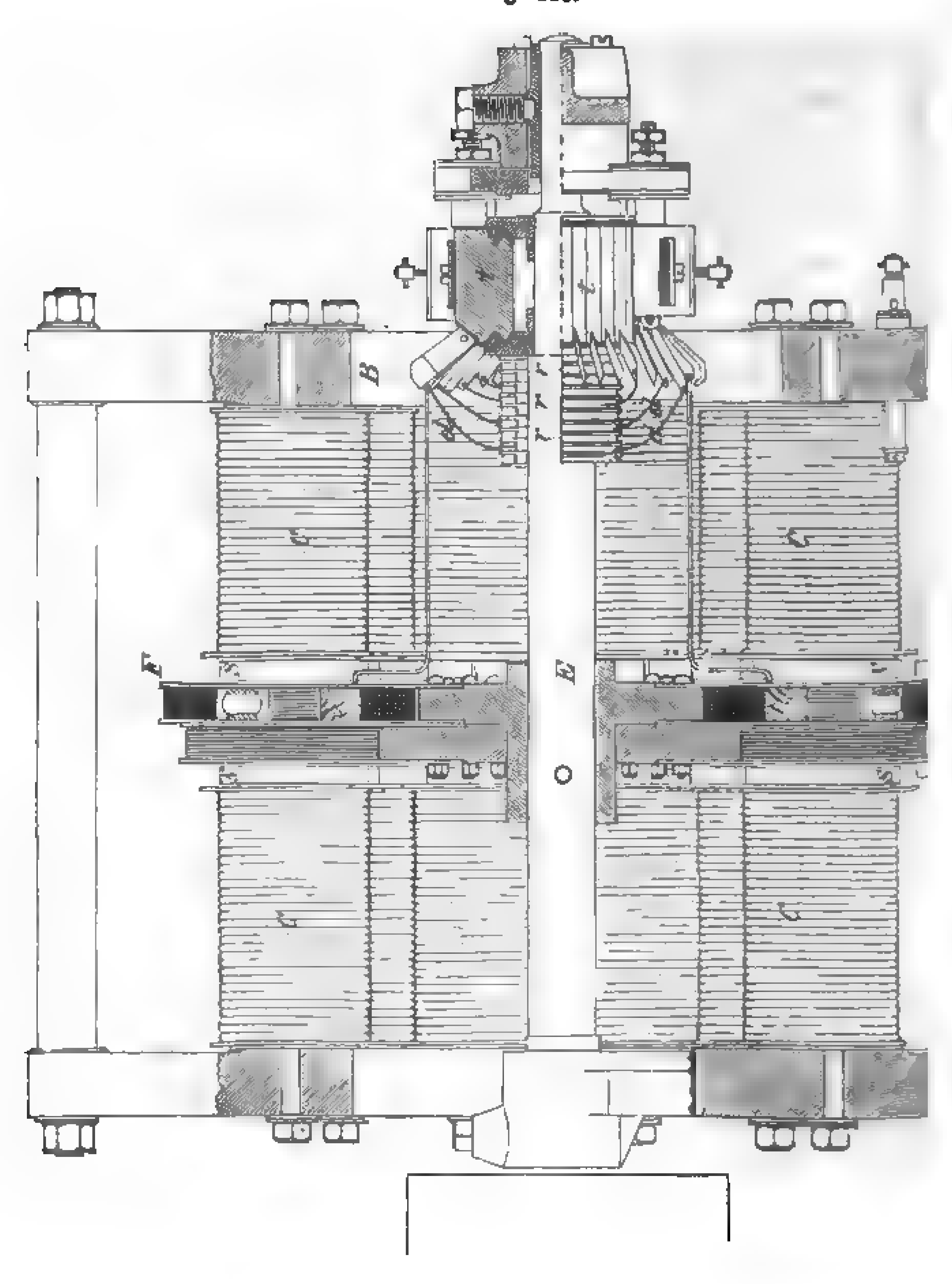
51. Die neueste dynamo-elektrische Maschine v. Hefner-Alteneck's für continuirliche Ströme[1]) ist in der Fig. 111 in der Voranderansicht, in der Fig. 112 in der Seitenansicht dargestellt.

Auf der Grundplatte *A* sind zwei eiserne Ständer *B* befestigt, deren Form aus den Zeichnungen ersichtlich ist. Jeder dieser Ständer trägt an seiner inneren, dem gegenüberliegenden Ständer zugekehrten Seite eine gerade Anzahl ($n + 2$) Elektromagnete, deren einander zugewendete Polenden in passend geformte Verbreitungen *N*, *S*, *N*, *S* auslaufen. Die Elektromagnete sind derart an jedem der Ständer *B B* um die Achse *E* der Maschine herum in einem Kreise angeordnet, dass jeder einzelne die entgegengesetzte Polarität sowohl von dem ihm zugekehrten gegenüberliegenden als auch von den beiden in der gleichen Ebene rechts und links von ihm liegenden hat; dabei sind die Umwindungen der einzelnen Magnete in passender Weise so mit einander verbunden, dass sie einen continuirlichen Stromkreis bilden. Der Abstand zwischen den einander zugekehrten Polflächen ist so klein gewählt, dass zwischen den einzelnen Polen magnetische Felder von hoher Intensität entstehen, deren jedes die entgegengesetzte Polarität der beiden ihm zunächst liegenden Felder besitzt.

Durch die beiden Felder bewegen sich n flache, mit isolirtem Leitungsdraht bewickelte Spulen .... mit Holzkernen von passender Form, welche im Kreise herum mit der Achse .... so verbunden sind, dass sie in einer zu derselben senkrechten Ebene liegen und den Raum zwischen den magnetischen Feldern ausfüllen. Da demnach die rotirenden Spulen in anderem Abstande von einander stehen als die magnetischen Felder, so kommen von den n Spulen

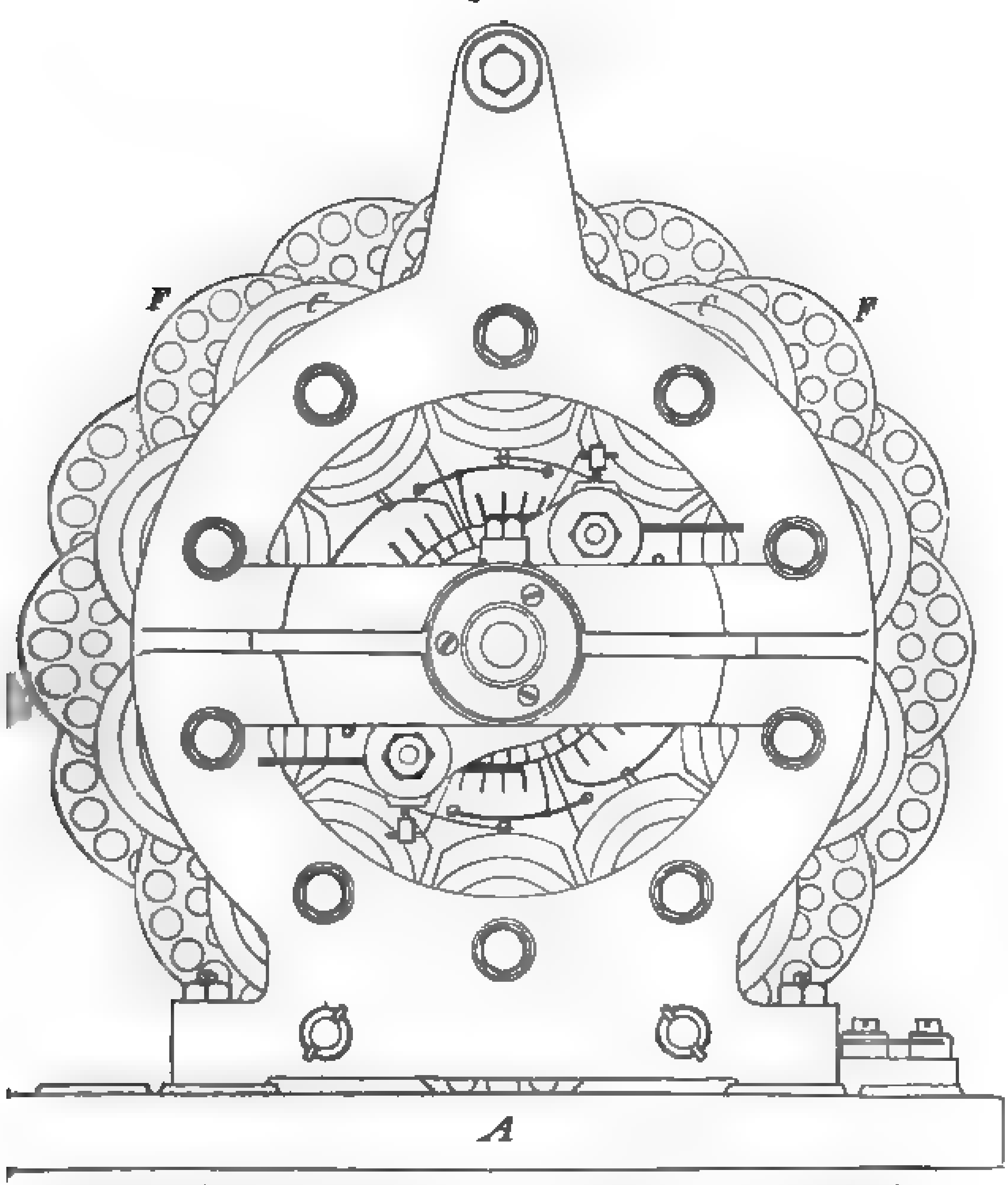
[1]) Vgl. E. Z., Bd. II, p. 163. *F. v. Hefner-Alteneck:* Ueber eine neue dynamo-elektrische Maschine für continuirliche Ströme.

Fig. 111.



immer nur zwei einander gegenüberliegende gleichzeitig gänzlich in die betreffenden magnetischen Felder zu liegen, während zur nämlichen Zeit die übrigen Spulen noch einen

Fig. 112.



ste dynamo-elektrische Maschine v. Hefner-Alteneck's für continuirliche Ströme (im Aufrisse).

grösseren oder kleineren Abstand von den ihnen gerade am nächsten liegenden magnetischen Feldern haben. Die Maxima der Stromimpulse treten also bei der Drehung der Spulen-

scheibe in den verschiedenen Spulen nicht gleichzeitig ein, sondern in auf einander folgenden Spulen in nach einander folgenden Zeiten.

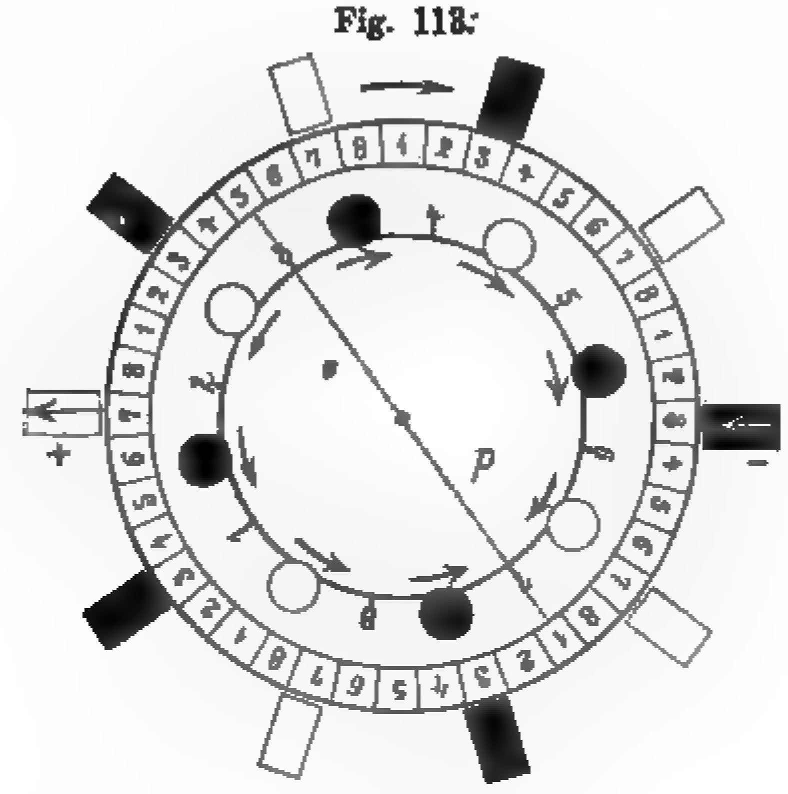
Die Enden der Spulumwickelungen sind derart mit einander verbunden, dass der auf allen Spulen befindliche Draht einen continuirlichen, in sich selbst geschlossenen Ring bildet, so aber, dass man beim Verfolgen dieses ganzen Ringes jede Spule in einem anderen Sinne als die vorhergehende umkreisen würde.

Von den Uebergangsdrähten zwischen je zwei auf einander folgenden Spulen geht ein Verbindungsdraht an je eine Gruppe des Collector-Cylinders. Ein solcher sitzt nämlich auf der Achse der Maschine und besteht aus n $(\frac{n}{2} + 1)$ von einander und von der Achse isolirten Theilen F., g....t, welche in n Gruppen so untereinander verbunden sind, dass jede Gruppe $\frac{n}{2} + 1$ Theile umfasst, die je um dazwischen liegende n—1 Collectortheile von einander entfernt sind. Die Verbindungen sind ausgeführt durch n isolirt auf die Achse aufgesteckte metallene Ringe r (Fig. 111), von welchen je $\frac{n}{2} + 1$ sternartig ausgehende Drähte d zu den Collectortheilen der betreffenden Gruppe führen. Zu den Ringen r führen nun die oben erwähnten Verbindungsdrähte, so zwar, dass die auf einander folgenden Uebergangsdrähte auch mit auf einander folgenden Ringen mit einander in Verbindung stehen.

Die schematische Fig. 113, für welche $n = 8$ gesetzt würde, wird das Ganze anschaulicher machen. In diesem Schema sind die im verschiedenen Sinne ihrer Umwickelungsrichtung in den Stromkreis eingeschalteten Spulen durch schwarzgefärbte, bezw. weiss gelassene Kreise angedeutet, die magnetischen Felder von verschiedener Polarität durch weisse, bezw. schwarze Vierecke; ausser den Spulen und magnetischen Feldern sind im Schema dargestellt: der mit den Spulen auf derselben Achse sitzende Collector-Cylinder mit seinen

von einander isolirten Metallscheiben durch die in den mittleren Kreisen liegenden Felder mit den Bezeichnungen 1 bis 8 u. s. w.; die feststehenden, an dem Collector schleifenden Federn durch die Linien + und —, die Verbindungsdrähte zwischen den Umwickelungen der einzelnen Spulen durch die dazwischen gezogenen Linien 1 bis 8. Die

Fig. 113.



Schematische Darstellung der Entstehung und der Sammlung des Stromes in v. Hefner-Alteneck's Maschine.

vorbeschriebenen Verbindungen zwischen den Spulen und dem Collector-Cylinder sind aber weggelassen; dieselben sind derart ausgeführt zu denken, dass jeder der Uebergangsdrähte 1 bis 8 in leitender Verbindung steht mit jedem gleichbezeichneten Collectortheile (1 1 1 1 oder 2 2 2 2 u. s. w.). Die einzelnen Theile des Schemas sind nur in richtiger Winkelstellung zu einander, im Uebrigen aber, des besseren Verständnisses wegen, gänzlich aus ihrer wirklichen Lage, radial zu einander verschoben, angedeutet.

Das Schema lässt nun die Wirkungsweise der Maschine leicht erkennen. Denkt man sich nämlich die Spulen mit dem Collector-Cylinder beispielsweise im Sinne eines Uhr-

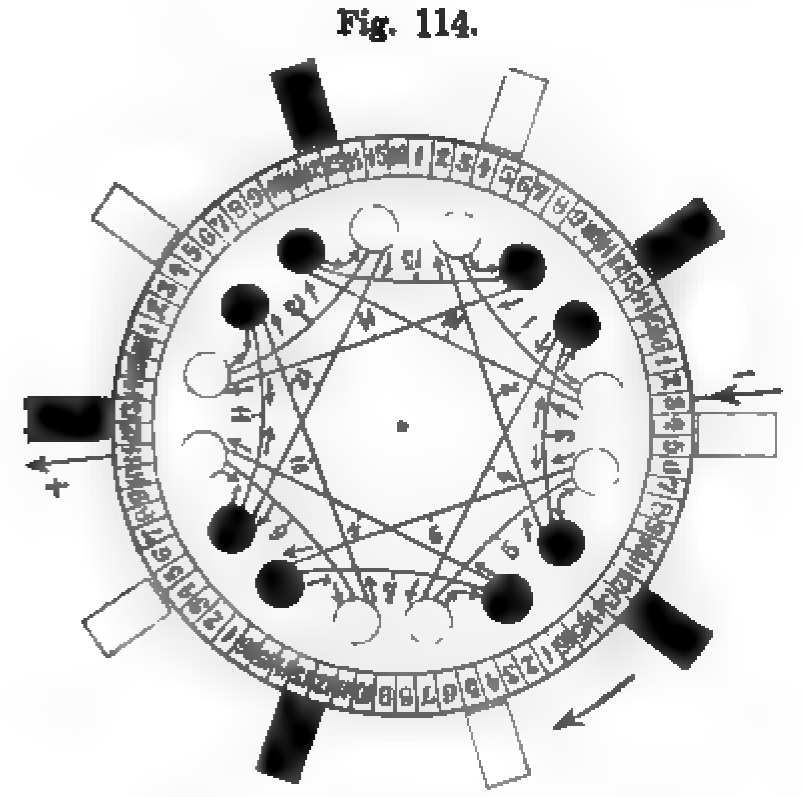
zeigers gedreht, so mag man die augenblickliche Stellung der Spulen mit dem Collector-Cylinder zu den magnetischen Feldern annehmen wie man will, man wird stets eine durch den Mittelpunct gehende Linie finden können, welche die Figur in zwei Hälften theilt, so zwar, dass in der einen Hälfte nur bezw. gleichfarbige Spulen und Felder sich einander nähern, in der andern Spule nur ungleichfarbige; für die in der Figur gezeichnete Stellung der Spulen ist diese Linie punctirt gezeichnet.

Nähern sich nun gleichzeitig etwa zwei aufeinanderfolgende Spulen den nächsten benachbarten magnetischen Feldern, die verschiedene Polarität haben, so entstehen in den beiden Spulen verschieden gerichtete Strom-Impulse, welche jedoch in Folge der beschriebenen Verbindung der einzelnen Spulen miteinander zu einem gleichgerichteten verstärkten Strome sich vereinigen; daher folgt, dass alle Spulen der einen Hälfte einen Strom im Sinne der Drehung, alle Spulen der zweiten Hälfte einen Strom im entgegengesetzten Sinne geben. In den Puncten 3 und 7 kann daher momentan ein Strom abgeleitet werden; diese Puncte stehen aber, wie schon erwähnt, mit den Ringen *r* 3 und 7 und durch diese wiederum mit allen Collectortheilen in Verbindung, welche mit 33 ... bezw. 77 ... bezeichnet sind. In der gezeichneten Stellung stehen aber eben 2 Collectortheile 3 und 7 auf der einen und anderen Seite unter den Schleiffedern; diese führen also einen elektrischen Strom ab in die sie mit einander verbindende äussere Leitung.

Auch für jede andere Stellung der rotirenden Theile findet sich, dass stets die erwähnte imaginäre Halbirungslinie durch diejenigen beiden Puncte des innern Schliessungskreises geht, welche mit den Collectortheilen, auf denen im gleichen Momente die festen Schleiffedern stehen, in Verbindung sind. Daraus folgt, dass von dem +Pole zu dem —Pole ein continuirlicher Strom übergeführt wird.

Aus dem Mitgetheilten geht schon hervor, dass die Zahl der Spulen und magnetischen Felder vielfach abgeändert werden kann; so können auch auf n Spulen $n-2$ magnetische Felder kommen. Auch kann man unter Beibehaltung der Zahl der magnetischen Felder (etwa $n+2$) die der Spulen ($2n$) verdoppeln. Eine solche Verdoppelung der

Fig. 114.



Schematische Darstellung der Entstehung und der Sammlung des Stromes in v. Hefner-Alteneck's Maschine.

Spulen bietet den besonderen Vortheil, dass wegen ihrer constanten Rückwirkung auf die Elektromagnetpole die Wirkung der Maschine besser und ihr Gang ruhiger wird und dass die Funken am mehrtheiligen Collector gering werden. Es werden dabei die Spulen in zwei Ebenen an einander liegend derart angeordnet, dass sie sich gegenseitig zur Hälfte überdecken, wie dieses aus der Figur 112 ersichtlich ist.

In Fig. 114 ist das dem Schema (Fig. 113) analoge Schema für eine solche Maschine gezeichnet. Man ersieht daraus, dass die Spulen, in welchen die sich addirenden Stromimpulse eintreten, nicht mehr räumlich aufeinanderfolgen, sondern

sprungweise im Kreise herum liegen und dementsprechend hintereinander in den Stromkreis geschaltet sind. Desshalb erscheint die in Fig. 113 sich als Kreis darstellende Verbindungsleitung zwischen den Spulen hier in Fig. 114 als eine im Kreise herum vor- und wieder zurückspringende Linie. Der Collector-Cylinder hat 80 Theile. In der gezeichneten Stellung geht die Theilungslinie durch die Verbindungspuncte 3 und 11 und sind die augenblicklichen Stromrichtungen durch Pfeile angedeutet.

Ein wesentlicher Vorzug der Maschine besteht in der einfachen Art der Wickelung und der Möglichkeit, die Isolation der Spulenumwindungen von den Metalltheilen der Maschine sicher herzustellen. Nicht minder wichtig ist, dass die Spulen kein Eisen enthalten und somit ein magnetischer Polwechsel nicht statt findet. Hiernach wird der mit einem Polwechsel verbundene Kraftverlust vermieden, sowie die Möglichkeit einer im Verhältniss zur Stromstärke geringen Erwärmung der Maschine gewonnen. Dabei findet eine vorzügliche Abkühlung statt, welche die Spulen durch die überall von aussen und innen sie umstreichende Luft erfahren.

V. Abtheilung.

Die neueren Wechselstrom-Maschinen.

(Maschinen zur Erzeugung mehrerer Partialströme.)

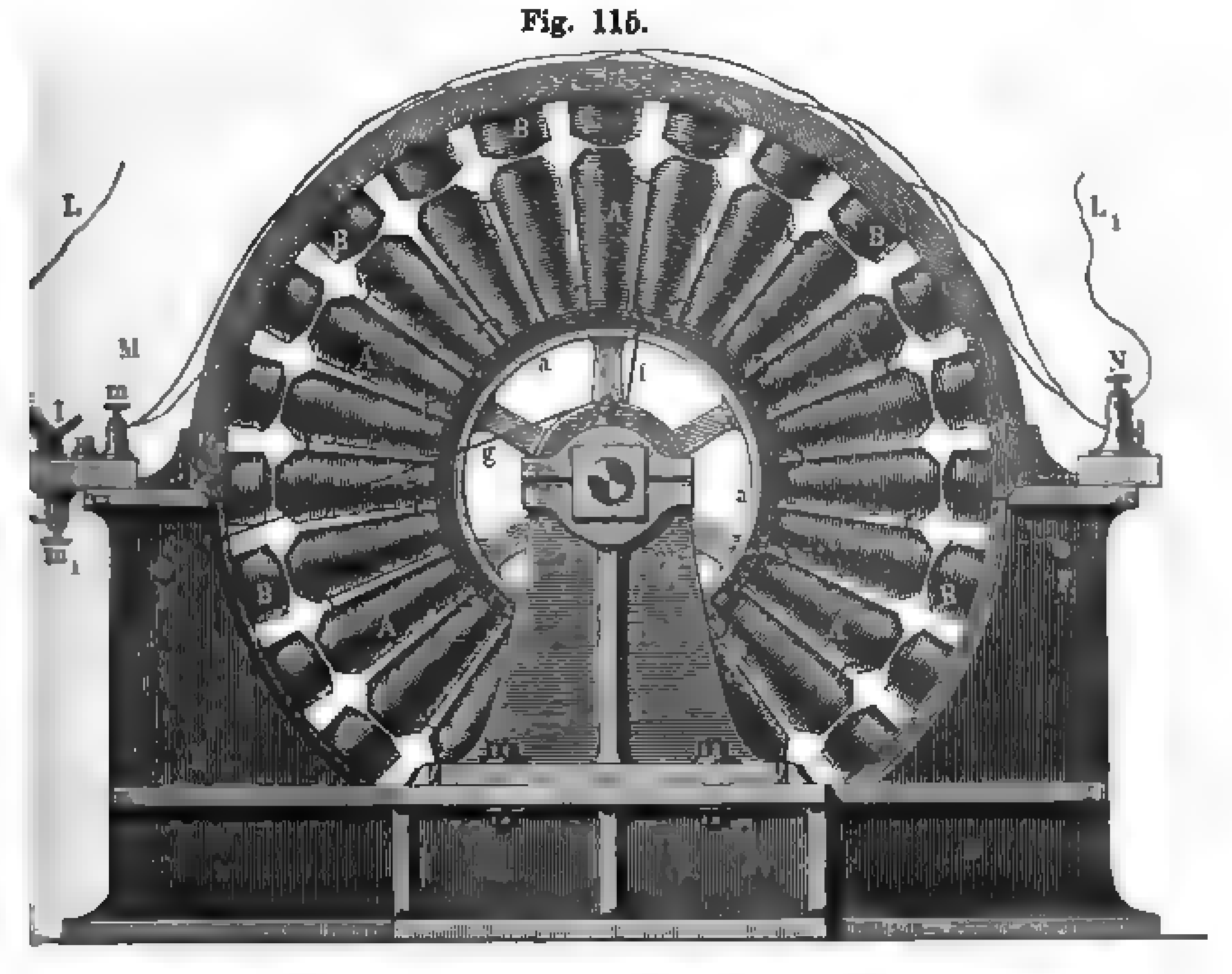
Zur Zeit, als die Nebenschluss- und Differential-Lampen (cf. Abth. IX) noch nicht erdacht waren, gelang die Theilung des elektrischen Lichtes mittelst der einfachen Regulatoren nur insofern, als bei Anwendung gewisser Maschinen mehrere von einander unabhängige Ströme erzeugt und in jeden einzelnen derselben ein Regulator geschaltet werden konnte. Einige dieser Maschinen sind bereits besprochen worden. Es sind dieses die Maschinen von *Wallace-Farmer*, §. 48, ***Brush***, §. 28, *Lontin*, §. 49. Bei der letzteren braucht man nur mehrere Inductorräder auf eine und dieselbe Achse zu setzen und jedes Rad mit einem besonderen Stromansammler und Ableiter zu versehen, um eben so viele von einander unabhängige Ströme zu erhalten, als elektrische Lichter zu erzeugen sind; dabei lässt es sich leicht einrichten, dass man ganz nach Belieben die Inductorräder vermittelst eines Umschalters zu zwei oder mehreren unter einander verbinden und dann einen Strom erzeugen kann, welcher die Summe aller Einzelströme ist. Sämmtliche erwähnten Maschinen erzeugen nur gleichgerichtete Ströme; zur Zeit war man aber gleich *Lontin* der Ansicht, dass die Maschinen mit Wechselströmen für die Erzeugung des elektrischen Lichtes am vortheilhaftesten seien. Worin dieser Vortheil besteht, haben wir bereits (p. 65) angeführt; im Uebrigen dürfte es

kaum mehr zweifelhaft sein, dass die Maschinen mit continuirlichem Strome sich zum Gebrauche bei der öffentlichen Beleuchtung mehr empfehlen und den Maschinen mit Wechselströmen an Kraft überlegen sind. Dieser Ansicht treten Physiker und Ingenieure immer mehr bei; namhafte Fachleute wie *Crompton* und *Schuckert* versichern sogar, dass die Wechselstrom-Maschinen niemals unter gleichen Umständen mit Maschinen für gleichgerichtete Ströme werden concurriren können, welche letzteren bezüglich Widerstand, Geschwindigkeit u. s. w. bei weitem mehr Nutzeffect im Flammenbogen geben sollen als die ersteren. Von seiner Voraussetzung ausgehend, baute indessen *Lontin* ausser der (§. 49) beschriebenen Maschine auch Wechselstrom-Maschinen, welche Partialströme erzeugen, grosse Aehnlichkeit mit der englischen Maschine von *Holmes* besitzen und in der Hauptsache auf folgende Weise construirt sind:

52. Lontin's Wechselstrom-Maschine. Mit der Rotationsachse ist ein isolirter eiserner Radkranz *a a* (Fig. 115) fest verbunden, auf dessen Aussenseite 24 kräftige **Elektromagnete** *A A* radial befestigt sind. Die Drahtwindungen dieser letzteren stehen mit einander in Verbindung und bilden eine einzige, nur an zwei Enden unterbrochene Leitung, und diese Enden *f* selbst sind auf den zu beiden Seiten des Rades auf der Achse sitzenden, von einander gut isolirten Contactringen befestigt. Wie die Figur zeigt, sind die Drahtenden je zweier benachbarter Elektromagnete derart mit einander verbunden, dass dieselben durch den hindurchgehenden Strom an ihren nach aussen gerichteten Stirnflächen entgegengesetzte Polaritäten erhalten, wonach in den aufeinander folgenden 24 Elektromagneten Nord- und Südpole sich abwechseln. Den zur Sättigung der Elektromagnete erforderlichen Strom liefert eine *Lontin*'sche Hülfsmaschine von der vorhin beschriebenen Einrichtung, deren Sternrad entweder auf der Hauptachse der Maschine befestigt ist

oder für sich allein in Rotation versetzt wird, und deren Strom bei den Klemmen $F F_1$ in die Hauptmaschine eintritt. Von diesen Klemmen geht auf jeder Seite des Elektromagnet-Rades ein Draht g g ab, dessen Ende auf den beiden Contactringen federnd aufliegt. Der aus der Hülfsmaschine bei F eintretende Strom gelangt daher über g und den

Fig. 115.



Lontin's magnet-elektrische Grossmaschine.

entsprechenden Contactring durch den Draht f zu dem ersten Elektromagnet, durchläuft dann der Reihe nach alle Elektromagnete A hintereinander und kehrt aus dem letzten über Draht f, seinen Contactring, Schleiffeder g und Klemme F_1 nach der Hülfsmaschine zurück.

Das eiserne Gerüst D D, welches das Achsenlager für das rotirende Elektromagnet-Rad trägt, dient zugleich als Träger eines äussern Kranzes b b b von weichem Eisen,

welcher das rotirende Rad concentrisch umgibt und auf welchem 24 kurze Inductorrollen *B B* in gleichen Abständen von einander befestigt sind. Bei der Rotation der Elektromagnete *A* streichen ihre Polenden ganz nahe an den eisernen Kernen der Inductorrollen *B* vorüber, und da je zwei benachbarte Polenden ungleichnamig magnetisirt sind, so werden auch bei der Drehung des Rades die inducirten Pole der eisernen Kerne der Inductorrollen beständig umgekehrt; es entstehen daher in den letzteren unausgesetzt Wechselströme, die sich, wenn die Drahtwindungen der Rollen danach eingerichtet sind, ganz oder theilweise summiren und nach aussen abgeleitet werden können.

Die Ableitung und Theilung des Stromes geschieht auf folgende Weise: Die Drahtenden der einzelnen Rollen *B B* sind nicht direct mit einander verbunden, sondern gehen einzeln nach entgegengesetzten Seiten der Maschine ab, die einen nach *M*, wo eine bewegliche Contactvorrichtung angebracht ist, die anderen nach *N*; von *M* und *N* geht die Leitung $L\ L_1$ ab, in welcher der Strom der Maschine seine Arbeit auszuführen hat.

Der Contactschliesser *M* enthält so viele einzelne Contacte, als Ströme von der Maschine abzuleiten oder elektrische Lichter zu erzeugen sind. Die Anzahl dieser nutzbaren Arbeitsströme ist durch die Construction der Maschine bedingt und hängt ab von der Zahl der Inductorrollen *B*. Bei der in der Fig. 115 abgebildeten Anordnung liefern je zwei dieser Rollen einen nutzbaren Strom und die 24 Rollen liefern 12 von einander unabhängige Stromsysteme. Jeder einzelne Contactschliesser *M* hat zwei isolirte Klemmen $m m_1$, welche durch den von der Hand zu bewegenden Taster mit einander verbunden oder, wie in der Figur, getrennt werden können; bei der Klemme *m* tritt der Strom aus der Maschine aus und, wenn *J* niedergedrückt ist, bei m_1 in die Leitung *L*. Ausserdem enthält jeder Contactschliesser noch eine be-

sondere Schaltvorrichtung, durch welche er sofort mit seinem benachbarten Schliesser verbunden werden kann; es ist daher möglich, durch ein einfaches Umlegen eines Contacthebels sämmtliche einzelnen Stromsysteme sofort zu einem einzigen Strome zu vereinigen oder von einander getrennt in die Leitung einzuführen. Auf der entgegengesetzten Seite N der Maschine befindet sich eine Reihe von Klemmen, in welchen die anderen Enden der Inductorrollen befestigt sind und von denen der zweite Zweig L_1 einer jeden Leitung abgeht.

Die grossen Vorzüge dieser letzteren Maschine von *Lontin* bestehen einestheils darin, dass man nach Belieben und nach dem Bedürfnisse mehrere ganz von einander unabhängige Ströme von verschiedener Stärke aus derselben ableiten und zur Erzeugung mehrerer elektrischer Lichter verwenden kann, anderntheils darin, dass man zur Ableitung dieser Ströme nicht der reibenden Bürsten bedarf, die abgesehen von ihrem Verbrauche stets die Quelle von erheblichen Stromverlusten bilden.

Bei einer Rotationsgeschwindigkeit des Elektromagnet-Rades von 320 Touren per Minute liefert die Maschine mit 24 Inductorrollen 12 getrennte Stromsysteme, wenn die Rollen zu je zwei hintereinander verbunden sind; jeder dieser Ströme erzeugt ein Licht von 100 Carcel-Brennern. Bei 150 Touren liefert sie durch Kuppelung von je 8 Rollen noch 3 Stromsysteme, jedes äquivalent mit 200 Carcel-Brennern.

Es sind besondere Vorkehrungen getroffen, um der Gefahr einer Ueberhitzung der Maschine vorzubeugen, die daraus entstehen würde, dass zeitweilig nur einige Stromsysteme nach aussen nutzbar verwendet würden, die anderen aber in der Maschine verblieben und sich dort in Wärme umsetzten. In solchen Fällen werden die nicht zur Verwendung kommenden Ströme durch einen Umschalter statt in die Leitung in einen eigens zu diesem Zwecke mit der

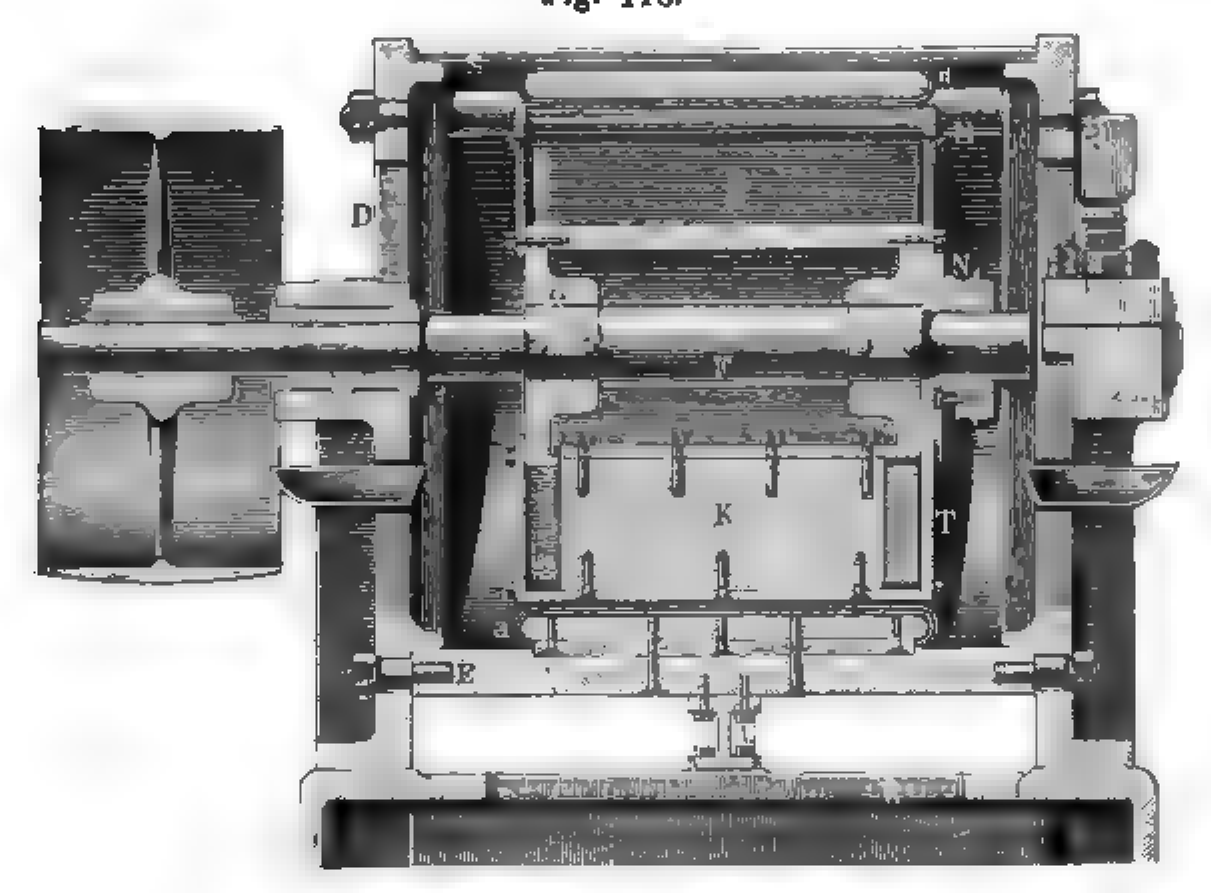
Maschine verbundenen Widerstands-Apparat geleitet, welcher diese Ströme aus der Maschine ableitet, dieselben gewissermaassen absorbirt und für die Maschine unschädlich macht.

Die grössere Maschine hat eine Zeit lang zur Beleuchtung des Bahnhofes zu Lyon gedient, wo sie an einunddreissig verschiedenen Stellen elektrische Lampen speiste, von denen jede eine Lichtstärke von etwa 46 Carcel-Brennern besass. Wir haben nicht erfahren können, wie gross der zum Betriebe der Maschine erforderliche Aufwand an mechanischer Arbeit war; bei einer anderen Maschine dieser Art, welche 24 einzelne Lichter à 200 Becs-Carcel oder 48 Lichter à 100 Becs-Carcel speiste, war der Aufwand an Betriebskraft 20 bis 22 Pferdekräfte; bei kleineren Maschinen von 300 bis 400 Carcel-Brennern sind nahezu 6 Pferdekräfte erforderlich. Seitdem hat *Lontin* noch wesentliche Verbesserungen an seinen Maschinen angebracht, durch welche es möglich wird, die Stärke der erzeugten Ströme, mögen sie gleichgerichtet oder Wechselströme sein, während des Ganges der Maschine von der Hand zu verändern, und zwar nach Belieben entweder bei sämmtlichen Strömen zu gleicher Zeit oder auch nur bei einzelnen, was allerdings überall da von Vortheil ist, wo die Maschine mehrere von einander unabhängige, verschieden grosse Operationen gleichzeitig auszuführen hat.

Die grossen Fortschritte, welche in der Theilung des elektrischen Lichtes (Abth. IX) theils durch die Maschine *Lontin*, theils durch Verbesserung und zahlreiche Anwendung der sogenannten *Jablochkoff*'schen Lichter (Abth. X) gemacht wurden, bestimmten auch den rastlos vorwärts strebenden Herrn *Gramme*, seine Studien über die Vervollkommnung seiner dynamo-elektrischen Ringmaschinen für gleichgerichtete Ströme einstweilen ruhen zu lassen, um seine ganze Aufmerksamkeit auf eine zweckmässige Construction von magnetelektrischen Maschinen für Wechselströme richten zu können. Dabei schliesst er sich im Wesentlichen den ty-

pischen Formen an, welche in den älteren Maschinen der Gesellschaft *l'Alliance* und des Engländers *Holmes* für die Erzeugung alternirender Ströme gegeben sind, ohne jedoch dieselben einfach zu copiren; im Gegentheil geben sich in den Einzelheiten dieser neuen *Gramme*'schen Maschinen so vortheilhafte Dispositionen zu erkennen, wie sie von dem

Fig. 116.



Magnet-elektrische Maschine von Gramme für Wechselströme.

auf dem Gebiete der Elektricität so erfahrenen Erfinder nicht anders zu erwarten sind. Die Hauptheile dieser

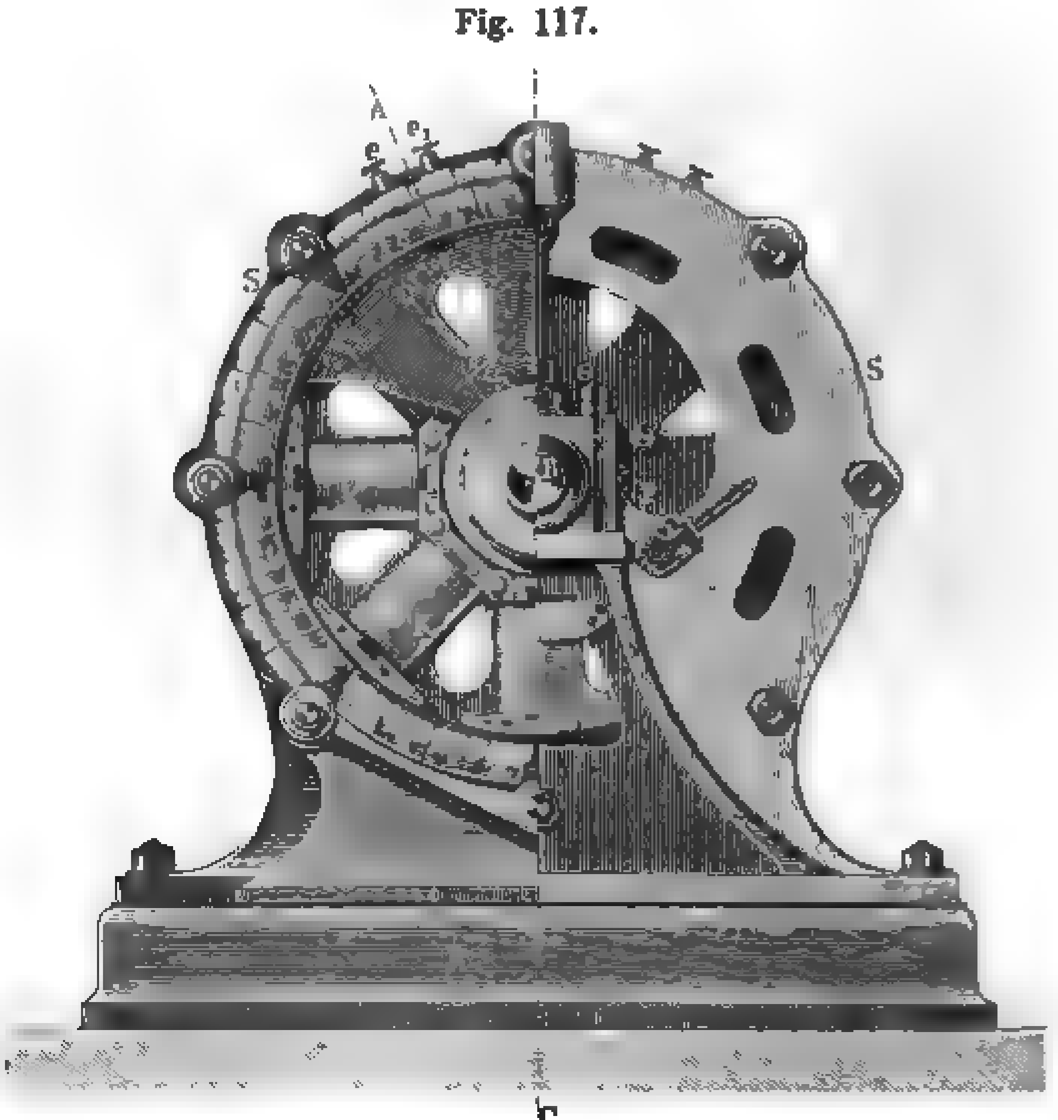
53. Gramme'schen Maschinen für Wechselstrome,[1] welche in den Fig. 116 (Querschnitt und Profil) und Fig. 117 und 118 (Doppelschnitt durch die Linien *A B*, *B C*) abgebildet sind, sind folgende:

1) Zwei starke, nahezu kreisförmige Seitenwände *D*, welche durch acht cylindrische kupferne Querriegel fest mit einander verbunden sind; 2) eine Stahlachse *F*, auf welcher

[1]) *Hipp. Fontaine* in Revue industrielle, 1878, 23.

vermittelst zweier gusseiserner Kränze *H* und einer achtseitigen, ebenfalls gusseisernen Nabe *J* acht kräftige Elektromagnetkerne *K K* befestigt sind; 3) eine Reihe von langgestreckten Gewinden aus Kupferdraht *a*, *b*, *c*, *d*, die entweder auf ein ringförmiges Stück weichen Eisens oder auf eine gleiche Anzahl kreisförmiger Segmente von weichem Eisen

Fig. 117.

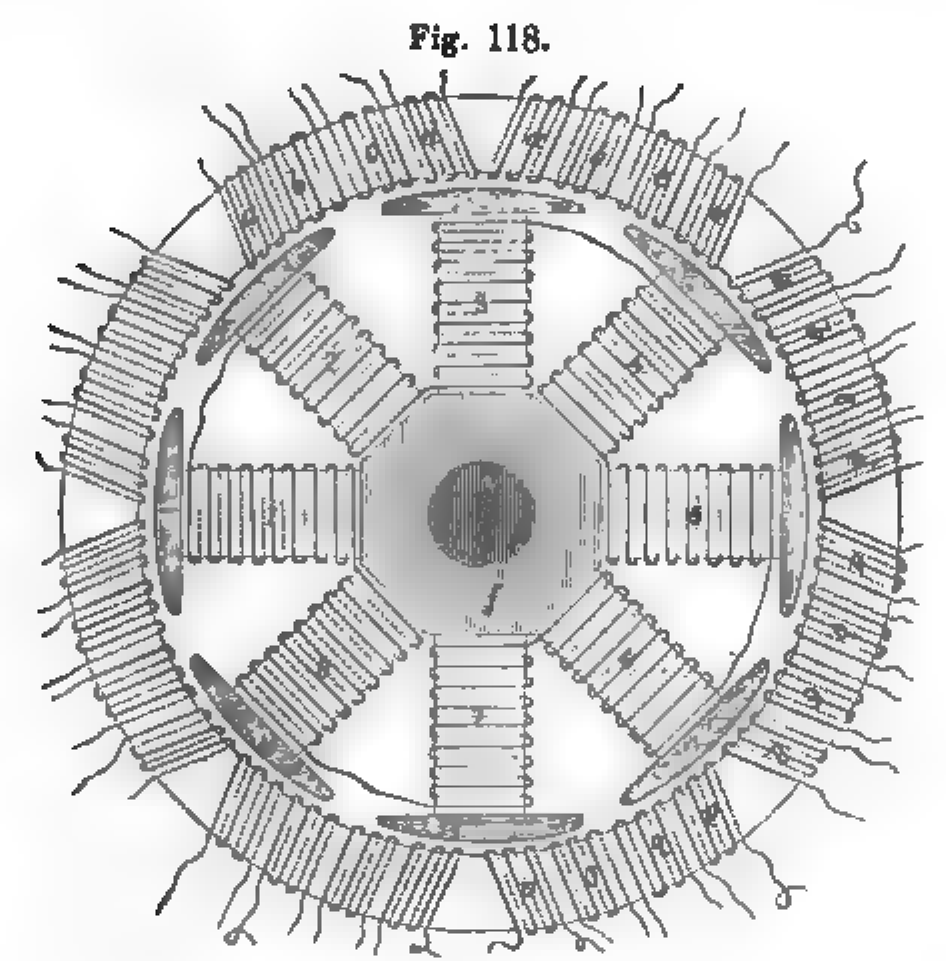


Gramme'sche Maschine für Wechselströme.

dicht neben einander aufgewickelt sind und nach aussen durch einen kupfernen Reifen festgehalten werden; 4) zwei auf der Achse sitzende Rollen *N*, gegen welche zwei verstellbare bandförmige Drahtbürsten *P* (Fig. 116) anfedern; 5) zwei dünne, mit der Achse fest verbundene Scheiben *T*, welche den Zweck haben, die nach beiden Seiten verlängerten Polschuhe (Armaturen) der Elektromagnete gegen die

Wirkung der Centrifugalkraft zu schützen; 6) ein Fussgestell *R*, auf welchem das ganze Gerüst der Maschine und der dasselbe verstärkende Träger *U* befestigt ist; 7) eine gefirnisste und behufs einer kräftigen Ventilation der Drahtrollen beiderseits mit vielen Oeffnungen versehene Deckplatte von Mahagoniholz; 8) eine Reihe kleinerer Theile zum

Fig. 118.



Schematische Darstellung der Gramme'schen Maschine für Wechselströme.

Zwecke, die Stabilität der Maschine zu vergrössern, ihre beweglichen Theile zu schützen und zu ölen, sowie überhaupt einen regelmässigen Gang der Maschine zu erzielen.

Die Elektromagnete erhalten den zu ihrer Magnetisirung erforderlichen elektrischen Strom über die zwei Drahtbürsten *P* und die von einander isolirten messingenen Rollen *N*. In der Regel wird dieser Strom von einer gewöhnlichen secundären Maschine von *Gramme* für gleichgerichte Ströme abgegeben, aber es kann dazu auch jede andere kräftige Elektricitätsquelle dienen, oder auch, wie

bei der Maschine *Lontin*, ein *Gramme*'scher Ring, der auf der Achse F befestigt ist und mit dieser umläuft.

Die acht, in genau gleichen Entfernungen im Kreise gestellten und auf der Achse F befestigten Elektromagnete sind mit nach aussen kräftig abgerundeten, nach beiden Seiten stark verlängerten Armaturen versehen, welche nur einen kleinen Zwischenraum zwischen sich lassen. Da die Umwindungsdrähte von einem zum andern entgegengesetzte Richtungen haben, so haben auch je zwei benachbarte Armaturen entgegengesetzte Pole, so dass ein Nordpol zu beiden Seiten einen Südpol hat und umgekehrt. Die 32 äusseren Drahtrollen a, b, c, d... sind von einander isolirt, und jede gibt ihre Enden an zwei isolirte Klemmen $e\,e_1$ ab, so dass es möglich ist, ganz nach Belieben 32 einzelne, von einander unabhängige Ströme aus der Maschine abzuleiten, oder auch durch geeignete Verbindung der Klemmen 16, 8 oder sogar nur 4 einzelne Ströme (von grösserer Stärke) zu erhalten, wie dieses gegenwärtig bei der Beleuchtung des Hippodroms, des Opernplatzes u. s. w. zu Paris geschieht.

Wenn die Maschine in Thätigkeit gesetzt wird, rotiren die langgestreckten kräftigen Magnetpole dicht an den ebenso langen Drahtbündeln a, b, c, d vorüber und erzeugen dadurch in diesen letzteren Inductionsströme (§§. 8 und 11), deren Intensität von der Kraft der Magnetpole und von der Geschwindigkeit der Rotation abhängt.

Da die Pole in jedem Moment zu jeder der mit gleichen Buchstaben bezeichneten Drahtrolle eine und dieselbe Lage haben, so ist auch die Stromstärke in einer jeden dieser Rollen, z. B. in a, gleich gross; ebenso ist sie in diesem Moment in allen Rollen b gleich gross, jedoch verschieden von der Stromstärke in a. Während einer ganzen Umdrehung der Achse ist daher, da jede Rolle gegen die Magnetpole ein gleiches Verhalten zeigt wie alle übrigen,

die Stromstärke in allen Rollen *a* ebenso gross, wie in allen Rollen *b*, *c* oder *d*. Will man daher aus der Maschine 4 einzelne Ströme ableiten, so braucht man nur die 8 Drahtrollen *a* hinter einander zu verbinden, ebenso die sämmtlichen Rollen *b*, die 8 Rollen *c* und die 8 Rollen *d*; jede dieser 4 Gruppen liefert einen Strom, der eine achtmal so grosse Spannung hat, als der Strom einer einzelnen Rolle.

Wenn sich ein magnetischer Nordpol einer Rolle, z. B. *a*, nähert, so entsteht in dieser ein Strom von bestimmter Richtung; der benachbarte Pol ist ein Südpol, und wenn sich dieser der benachbarten Rolle *a* nähert, so entsteht in dieser ein Strom von entgegengesetzter Richtung. Beabsichtigt man daher, die Maschine so einzurichten, dass in allen gleichliegenden Rollen, z. B. *a*, zu gleicher Zeit gleichgerichtete Ströme entstehen, so müssen die Windungen dieser Rollen abwechselnd entgegengesetzte Richtungen haben; will man dagegen in allen gleichliegenden Rollen zu gleicher Zeit Ströme von entgegengesetzter Richtung haben, so müssen die Drahtwindungen derselben gleichgerichtet sein. Man mag nun in dieser Beziehung eine Einrichtung treffen, welche man will, die Unabhängigkeit aller Rollen unter sich und die Disposition der Klemmen e, e_1, in denen die Enden der Rollen befestigt sind, gestattet, ganz nach Belieben die Rollen auf Quantität oder auf Spannung zu kuppeln und ebenso Ströme von gleicher oder von entgegengesetzter Richtung aus der Maschine abzuleiten.

Gramme hat nach diesem Systeme drei verschieden grosse Maschinen für Wechselströme gebaut.

Die erste speist 16 *Jablochkoff*'sche Lichter; sie erfordert zu ihrem Betriebe 16 Pferdekräfte und kostet mit der zur Magnetisirung der Elektromagnete erforderlichen *Gramme*'schen Hülfsmaschine 10 000 fr. Es ist dies die in den vorstehenden Figuren abgebildete Maschine. Mit der Riemenscheibe misst sie 89 cm in der Länge, 76 cm in der Breite

und 78cm in der Höhe; sie nimmt einen Raum von 1/8 cbm ein; ihre Maximalgeschwindigkeit ist 600 Touren in der Minute, ihr Gesammtgewicht 650kg. Der Kupferdraht der Drahtrollen und der Elektromagnete wiegt 103kg.

Die zweite Maschine speist 6 *Jablochkoff*'sche Kerzen, erfordert zu ihrem Betriebe 6 Pferdekräfte und kostet mit der erregenden *Gramme*'schen Hülfsmaschine 5000fr. Sie ist 70cm lang, 40cm breit und 52cm hoch und nimmt einen Raum ein von 0,15cbm. Sie macht 700 Touren in der Minute und wiegt 280kg; der wirksame Kupferdraht wiegt 40kg.

Die dritte Maschine speist bloss 4 *Jablochkoff*'sche Kerzen; sie erfordert 4 Pferdekräfte und kostet einschliesslich der Hülfsmaschine 3500fr. Bei einer Länge von 55cm, einer Breite von 40cm und einer Höhe von 48cm nimmt sie einen Raum ein von 0,18cbm. Sie macht 800 Touren in der Minute und wiegt 190kg; das Gewicht des wirksamen Kupferdrahtes beträgt 28kg.[1])

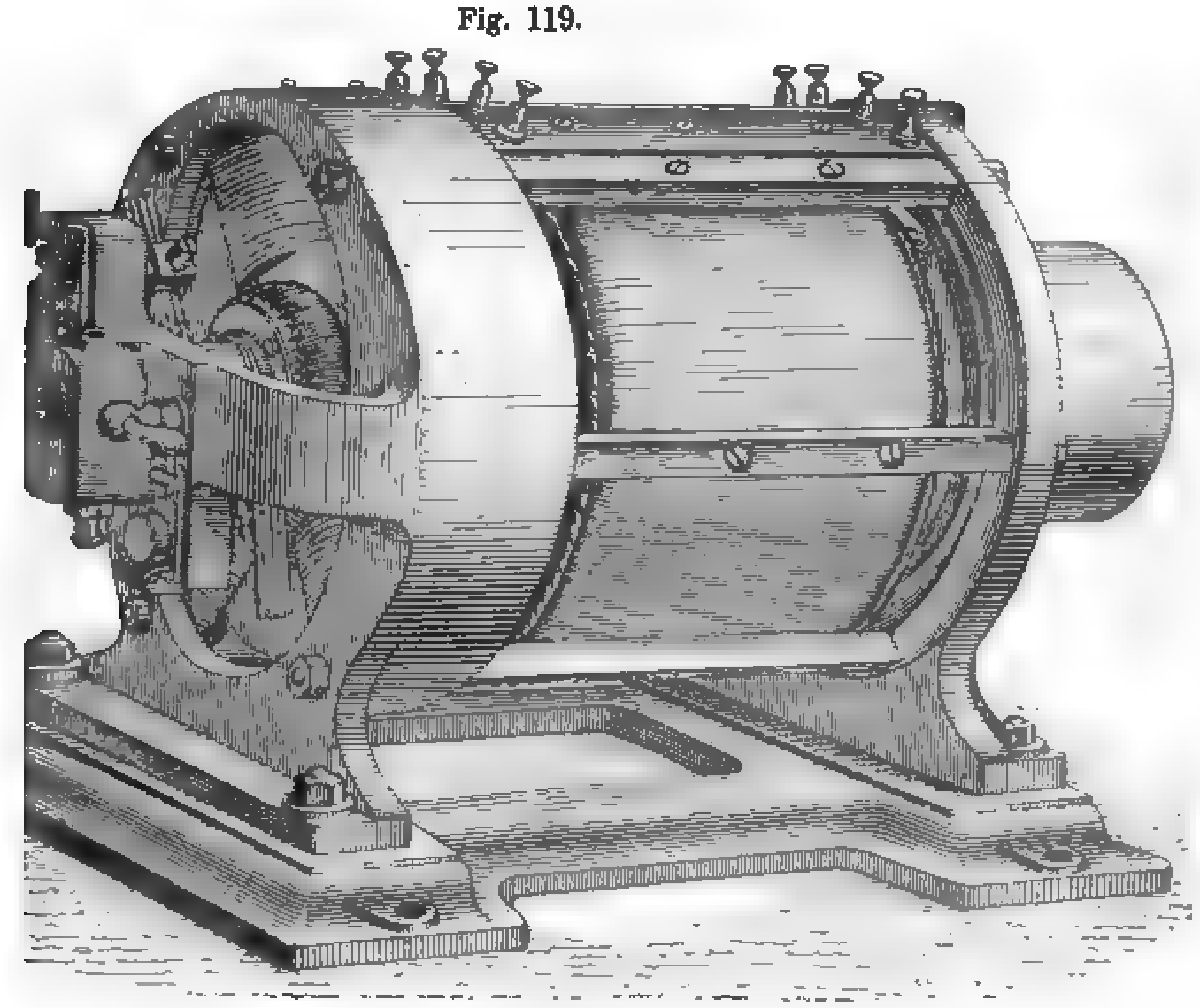
Vergleicht man das System *Gramme* für Wechselströme mit dem ältern Systeme für gleichgerichtete Ströme, so findet man leicht folgende Unterschiede in der Construction und in der Leistung. Bei den Maschinen der letzteren Art rotirt ein Drahtgewinde ohne Ende, welches auf einem eisernen Ringe aufgewickelt ist, an den Polen eines Stahl- oder Elektromagnets vorbei; die wesentlichen Theile der Construction sind dieser Ring, ein Stromsammler und ein Elektromagnet mit entgegengesetzten Polen; das Resultat ist ein continuirlicher, bei gleicher Geschwindigkeit der Rotation constanter Strom von gleichbleibender Richtung. Das Princip der neuesten Maschine besteht dagegen in der Rotation von Elektromagneten und deren directem Einwirken auf festliegende Drahtrollen. Die wesentlichen Con-

---

[1]) Vgl. den Bericht *Jamin's* über die elektrische Kerze. Z. f. a. E. 1880, p. 249.

tructionstheile sind Elektromagnete mit einfachen Polen und inzelne, völlig von einander getrennte und isolirte Drahtollen, deren Windungen gleich oder entgegengesetzt gerichtet ein können; das Resultat ist ein System von Wechseltrömen wie bei den *Alliance*-Maschinen u. s. w., das zur Erzeugung des elektrischen Kohlenlichtes verwendet werden

Fig. 119.



Gramme's neue Wechselstrom-Maschine.

tann und zur Speisung von *Jablochkoff*'schen Kerzen erorderlich ist.

Bei der vom Jahre 1878 stammenden Wechselstrom-Maschine erregte *Gramme* die beweglichen Armaturen durch ine eigene kleine Hülfsmaschine für continuirlichen Strom. Diese Einrichtung erschwerte die Transmission und besass inige Nachtheile in betreff der Gleichmässigkeit des Lichtes,

welches die Wechselströme mittelst elektrischer Kerzen erzeugte; daher vereinigte *Gramme* bei einer neuen besseren und dazu billigeren Maschine die beweglichen Theile der beiden Maschinen auf einer und derselben Achse, so dass sie mit gleicher Geschwindigkeit rotiren.

Während die Anordnung der Wechselstrom-Maschine (mit 6 Elektromagneten) fast die gleiche wie die frühere geblieben ist, unterscheidet sich die Maschine für den continuirlichen Strom dadurch von der entsprechenden älterer Construction, dass nunmehr 2 Elektromagnete radial gegen den *Gramme*'schen Ring unter rechten Winkeln aufgestellt (vgl. Fig. 119 links) und so mit Armaturen versehen sind, dass in dem Ringe wiederum 2 Pole inducirt werden. Der Strom der erregenden Maschine geht, bevor er durch Schleifcontacte in die Wechselstrom-Maschine übergeführt wird, durch einen Kupferdraht, dessen Länge und Querschnitt leicht zu verändern ist, so dass die Stromstärke in den beiden Maschinen geändert werden kann.

Die Bewickelung unterscheidet sich von der bei den älteren Maschinen, in so fern zwei Drähte zugleich, anstatt eines einzigen, gewickelt sind, damit man für kleine Kerzen einen Intensitätsstrom, für grössere Kerzen einen Quantitätsstrom erzeugen kann.

Jetzt werden die Maschinen in zwei Grössen gebaut; die kleineren wiegen 280kg und speisen 12 Kerzen mit 20 bis 30 Carcel-Brennern Lichtstärke, oder 8 mit 40 bis 50 Brennern; die grösseren wiegen 470kg und speisen 24 Kerzen zu 20 bis 30, oder 16 mit 40 bis 50 Brennern. In der nachfolgenden Tabelle wurden die 4 ersten Versuche mit einer kleinen, von einer *Otto*'schen Gaskraftmaschine getriebenen Maschine angestellt, und die Abtheilungen der Spule waren parallel geschaltet, so dass sie 2, 3 und 4 getrennte Stromkreise bildeten. Die Triebkraft wurde mittelst eines *Prony*'schen Zaums gemessen. Die Kerzen hatten

Kohlenstäbe von 4mm Durchmesser und brannten 2 Stunden. Die Versuche 5 bis 7 wurden mit derselben Maschine bei Hintereinanderschaltung gemacht; die Kerzen hatten Kohlenstäbe von 3mm und brannten 1½ Stunden. Man hätte die Theilung des Lichtes noch weiter treiben können; allein beim Herabgehen auf 20 Brenner Lichtstärke verloren die Kerzen viel an ihrem regelmässigen Brennen. Die Versuche 8 bis 9 wurden mit einer kleinen Maschine angestellt, die von einer in ihrer Geschwindigkeit stark wechselnden Dampfmaschine getrieben wurde. Mehrere Kerzen erloschen während des Ganges; man konnte dem aber dadurch abhelfen, dass man die Geschwindigkeit ein wenig erhöhte. Die Versuche 10 bis 12 wurden in der Werkstätte der *Société Jablochkoff* in Paris mit grossen Maschinen ausgeführt. Alle Versuche ergaben, dass die neue Maschine ein weit ruhigeres Licht als die Maschine vom Jahre 1878 gibt.

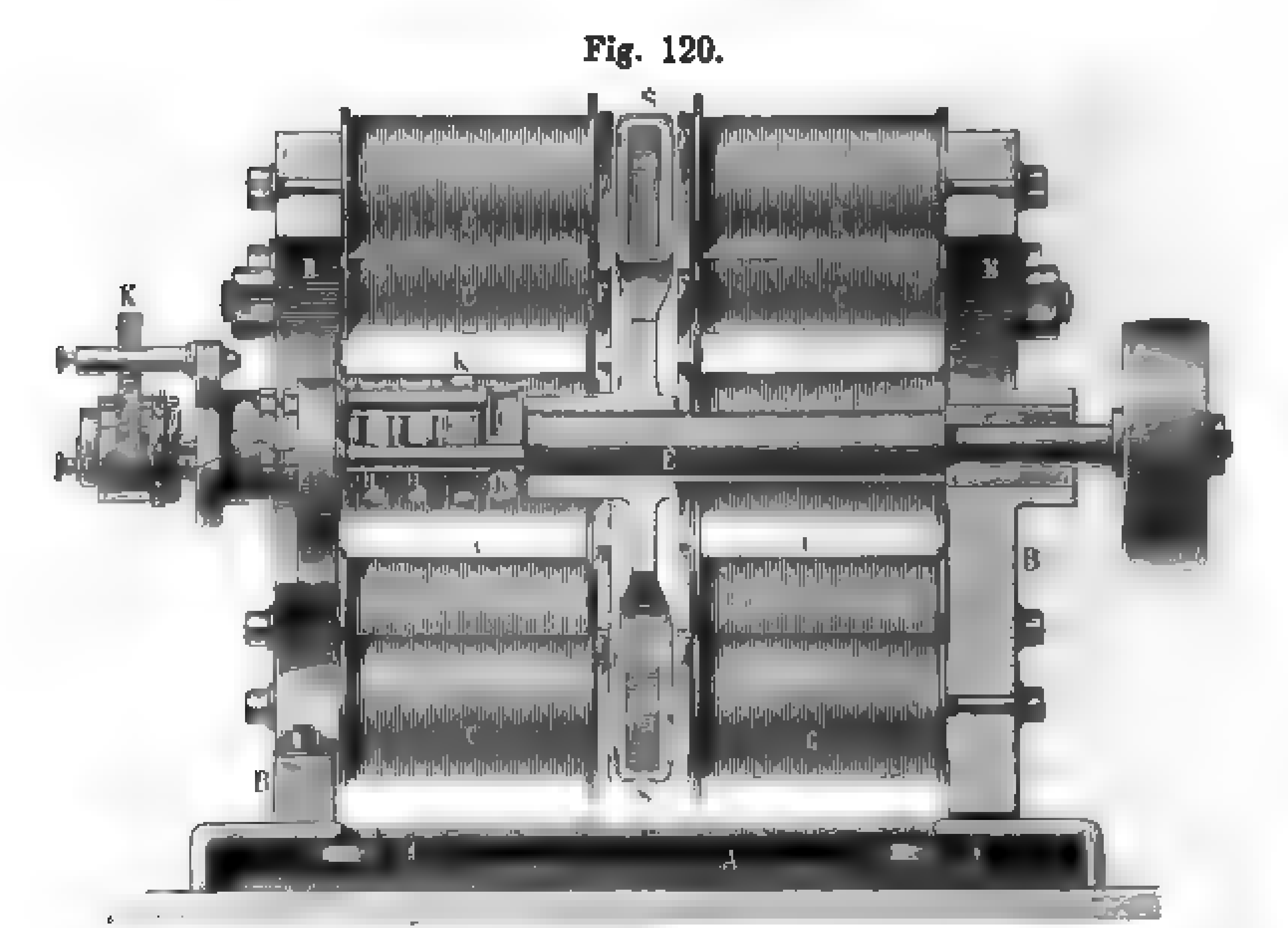
Versuchs-nummer.	Minutliche Tourenzahl.	Kraftaufwand mk.	Anzahl der Kerzen.	Leuchtkraft jedes Lichtes in Carcel-Brennern.
1	1140	145	2	45
2	1200	204	4	47
3	1330	330	6	44
4	1400	380	8	42
5	1440	352	12	25
6	1350	310	8	38
7	1300	287	6	37,5
8	1300	334	6	50,2
9	1460	376	8	47,2
10	1000	—	16	48
11	1020	—	20	51
12	1200	—	25	31,5

Vgl. Revue industrielle 1880, p. 53, oder auch *Dingler's* Pol. J., Bd. 237, p. 128, die bezüglichen Abbildungen (Grundriss, Vorderansicht, Seitenansicht, verschiedene Längsschnitte und sonstige Schnitte).

Den Höhepunct der Wechselstrom-Maschinen bildet gegenwärtig

54. Siemens-Halske's dynamo-elektrische Maschine zur Erzeugung von intermittirenden gleichgerichteten oder Wechselströmen in einem oder mehreren Stromkreisen. Die Maschine ist in der Figur 120 in der Seitenansicht, in Figur 121

Fig. 120.



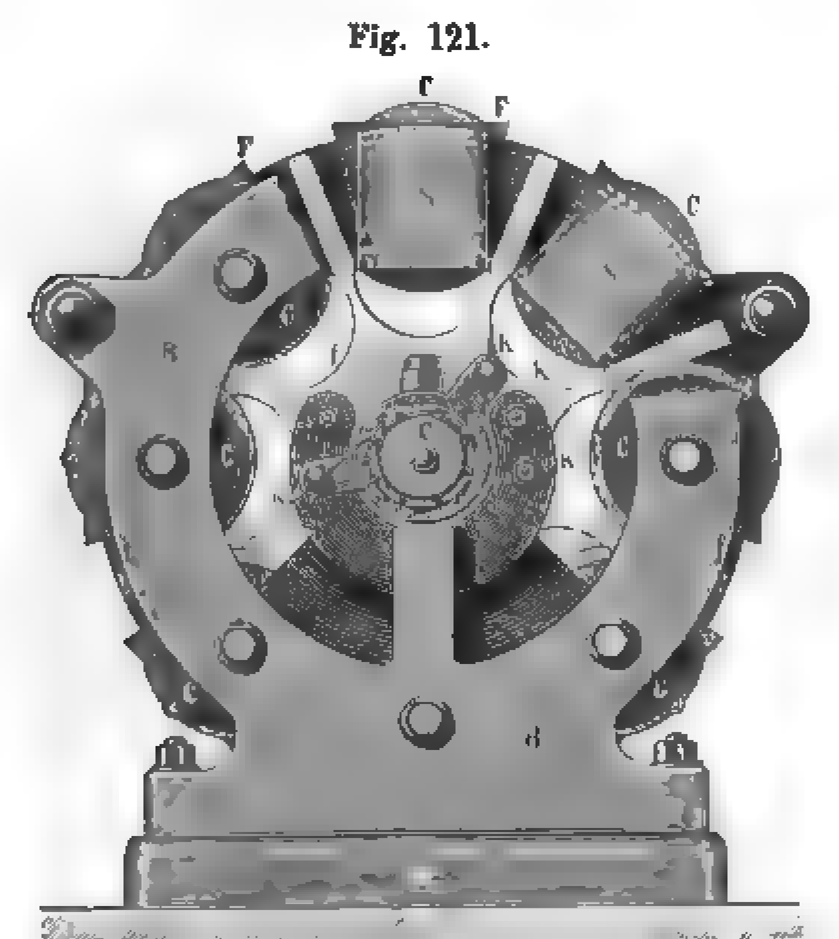
Siemens-Halske's neueste dynamo-elektrische Maschine für gleichgerichtete und Wechselströme.

in der Vorderansicht abgebildet. Auf der Grundplatte *A* sind zwei eiserne Ständer *B B*, deren äussere Gestalt aus Fig. 121 ersichtlich ist, durch Schraubenbolzen befestigt.

Jeder dieser Ständer *B* trägt an seiner inneren Seite eine Anzahl Elektromagnete *C C* ... (im vorliegenden Falle 8), deren einander zugewendete Polenden in grössere flache Scheiben *F F* . . . von weichem Eisen auslaufen; diese Armaturen sind daher als Verlängerungen der Polenden anzusehen.

Die Elektromagnete sind an jedem der Ständer *B B* um die Achse *E* der Maschine herum in einem Kreise angeordnet. Der Abstand zwischen den einander zugekehrten Polflächen der sich paarweise gegenüberstehenden Elektromagnete ist so klein gewählt, dass zwischen den einzelnen Polen magnetische Felder von hoher Intensität entstehen,

Fig. 121.



Siemens-Halske's neueste dynamo-elektrische Maschine für gleichgerichtete und Wechselströme.

deren jedes die entgegengesetzte Polarität der beiden ihnen zunächst liegenden Felder besitzt.

Durch diese magnetischen Felder bewegt sich bei der Umdrehung der Achse ein Ring *D* mit flachen, aus isolirtem Kupferdrahte gewickelten Spulen *S S* . . ., welche im Kreise herum mit der Achse *E* so verbunden sind, dass sie in einer zu derselben senkrechten Ebene liegen und den Raum zwischen sämmtlichen Elektromagnetpolen, d. h. die magnetischen Felder so viel wie möglich ausfüllen.

Die Umwindungen der einzelnen Elektromagnete sind fortlaufend oder in passender Combination mit einander verbunden und bilden sonach einen continuirlichen Stromkreis, dessen in Schleiffedern auslaufende Enden zu einem Commutator *G* geführt sind, auf den wir sogleich zurückkommen.

Die aus Metall hergestellten Kerne, auf welche der Draht aufgewickelt ist, sind durch ein geeignetes Material (Pappe oder Horngummi) von den auf den Ständern *B B* festsitzenden Eisenkernen isolirt. Hierdurch wird das Mittel gewonnen, das innere Ende des isolirten Umwindungsdrahtes nicht aus der Spule hervorziehen zu müssen, indem man dieses Ende fest und metallisch mit der Spule verbindet und die Leitung an einem beliebigen Puncte derselben anlegt.

Der erwähnte, die Erzeugung der dynamo-elektrischen Ströme vermittelnde, scheibenförmige Ring *D* ist aus massivem Eisen, oder, um schädliche innere (*Foucault*'sche) Ströme zu vermeiden, aus Eisendraht oder von einander isolirten Eisenblech-Scheiben hergestellt. Derselbe ist in radialer Richtung mit isolirtem Kupferdrahte umwunden und dreht sich, wie schon gesagt, durch die zwischen den Magnetpolen sich bildenden magnetischen Felder.

Die Achse *E* dieses Ringes, welche den Commutator *G*, sowie die zur Fortleitung des Stromes erforderlichen Contactringe *H H* . . . trägt, ist inmitten der beiden Ständer *B B* aufgelagert und wird durch Vermittlung einer an dem andern Ende aufgesteckten Riemenscheibe durch einen hinreichend starken Motor in rotirende Bewegung gesetzt. Der Ring *D* wird durch eine in gabelförmige Enden auslaufende Scheibe *J* getragen.

Die Zahl der erwähnten, um den scheibenförmigen Ring *D* radial gewundenen Drahtlagen *S* ist in dem vorliegenden Falle gleich der Anzahl der vorhandenen sich gegenüberstehenden Magnetpaare, also acht; es kann dafür aber auch

ein Vielfaches dieser Zahl und, wenn man auf gewisse Combinationen der Drähte unter sich verzichtet, eine beliebige andere Anzahl gewählt werden.

Eine oder mehrere, im vorliegenden Falle zwei, Drahtlagen werden dazu benutzt, die festen Elektromagnete *C*, *C* . . . nach dem dynamo-elektrischen Princip anzuregen und zur vollen Wirkung zu bringen. Da die in diese Windungen inducirten Ströme gleiche Richtungen haben müssen, bevor sie zu den Elektromagneten gelangen, so werden sie nach dem Commutator *G* geführt, auf dessen kreisförmiger Contactfläche die als Enden des Elektromagnet-Umwindungsdrahtes anzusehenden Contact-Schleiffedern *K K* gleiten.

Der Commutatorring *G* sitzt am äusserten Ende der Welle *E* und ist von dieser durch irgend eine geeignete Masse isolirt. Er besteht, entsprechend der Anzahl der an jeder Seite des Ringes liegenden Elektromagnetpole, aus acht von einander isolirten Kreissegmenten, die unter sich so verbunden sind, dass die von einer Stelle aus gezählten geraden Nummern und die von derselben Stelle aus gezählten ungeraden Nummern je ein metallisch zusammenhängendes Ganzes bilden. Mit je einem solchen, aus vier Segmenten bestehenden Theile des Commutators ist je ein Ende der zu dem genannten Zwecke bestimmten Drahtspulen *S* des Ringes verbunden, so dass die Commutirung der Ströme bei jedem Achtel einer Umdrehung des Ringes eintritt. Die beiden inneren Enden der erwähnten beiden radialen Windungen sind, wie die übrigen Windungspaare, direct mit einander verbunden.

In Folge der oben erwähnten alternirenden Anordnung der Magnetpole und deren dynamo-elektrischen Wirkung auf den Ring *D* werden sonach durch die Rotation des Ringes die Drahtwindungen *S* durch magnetische Felder von stets wechselnder Polarität geführt und dadurch bei jeder Umdrehung der Achse in jeder der radial stehenden

Drahtwindungen eine der Anzahl der Elektromagnetpaare entsprechende Zahl intermittirender Ströme von wechselnder Richtung erzeugt, die entweder gemeinsam oder getrennt, oder auch paarweise in passender Richtung combinirt, in eine einzelne oder auch in eine der Menge der radialen Windungspaare entsprechende Anzahl getrennter Leitungen gesandt werden können.

Zur Ueberführung der erzeugten Wechselströme auf diese Leitungen ist auf der Achse E eine entsprechende Anzahl Contactringe $H H \ldots$ angebracht, welche von dieser und untereinander isolirt sind und die Enden der rotirenden Drahtspulen in geeigneter Weise aufnehmen. Die weitere Fortführung des Stromes von diesen Contactringen nach den betreffenden Leitungen wird durch schleifende Contactfedern $K K \ldots$ vermittelt.

Zeichnet man sich zwei einander zugekehrte Magnetpole in der Weise, wie es in der Figur 22 geschehen ist, doch so, dass die Solenoidströme der Pole entgegengesetzte Richtungen haben, und zwischen den beiden Polen einen rechteckig gebogenen Draht, dessen Ebene, wie dieses in der beschriebenen Maschine wirklich der Fall ist, senkrecht zu den Polflächen steht, so erkennt man sofort, dass die Bewegung dieses Drahtes durch die magnetischen Felder der Pole in einer zu den Polflächen parallelen Ebene in den beiden Längsseiten des Drahtvierecks Ströme von entgegengesetzter Richtung inducirt. Wenn der eine Strom in seinem Drahtzweige aufsteigt, so steigt der andere in seinem Zweige herab; da jedoch beide Drahtzweige in der Drahtspule nur einen einzigen zusammenhängenden Draht bilden, so verstärken sich beide Ströme gegenseitig und geben in der Spule einen Doppelstrom von einerlei Richtung.

Siemens-Halske bauen diese Maschinen je nach dem Zwecke, für welchen sie bestimmt sind, mit mancherlei Abänderungen der Details, jedoch mit Beibehaltung des

denselben zu Grunde liegenden Princips der Construction. Namentlich werden bei grösseren Maschinen die radial zur Achse gestellten Kerne, auf welche die Drähte gewickelt sind, aus Holz oder Metall, mit Ausschluss von Eisen, angefertigt; die Drahtspulen enthalten also keinen eisernen Kern, und es finden daher auch keine Polwechsel oder Polverschiebungen in den sich bewegenden Eisenmassen statt. Diese Einrichtung hat den Vortheil, dass die mit solchen Polbewegungen verbundenen Erhitzungen, Arbeitsverluste und sonstige schädliche Inductionswirkungen vermieden werden. Wenn indess aus Rücksichten der Construction doch Eisenkerne im Innern der Drahtspulen genommen werden, so sind die Dimensionen derselben derart gewählt, dass die von ihnen ausgehende inducirende Wirkung ganz untergeordneter Art gegenüber derjenigen ist, welche durch die directe Einwirkung der permanenten Pole der Elektromagnete auf die Drahtspulen bei deren Durchgang durch die kräftigen magnetischen Felder erzielt wird.

Diese Wechselstrom-Maschine zeichnet sich ganz besonders durch geringen Kraftbedarf, soliden Bau und unbedeutende eigene Erhitzung aus; es darf uns daher nicht wundern, wenn dieselbe für die verschiedensten Zwecke der elektrischen Beleuchtung in kurzer Zeit eine ungewöhnliche Verbreitung gefunden hat und auch ausserhalb Deutschlands gegen die neuesten Wechselstrom-Maschinen von *Gramme* und *Lontin* erfolgreich ankämpft.

Der Hauptvortheil dieser Maschine liegt darin, dass bei derselben durchaus kein Polwechsel und keine Verschiebung magnetischer Pole im Eisen auftritt, und dass überhaupt keine Eisenmassen, sondern nur Kupferdrähte in ihr bewegt werden.

Es ist selbstverständlich, dass zur Kräftigung der feststehenden inducirend wirkenden Elektromagnete *C C*, die mit entgegengesetzten Polen einander gegenüberstehen, nur

gleichgerichtete Ströme verwendet werden können, welche in diesen Elektromagneten stets eine und dieselbe Polarität erhalten.

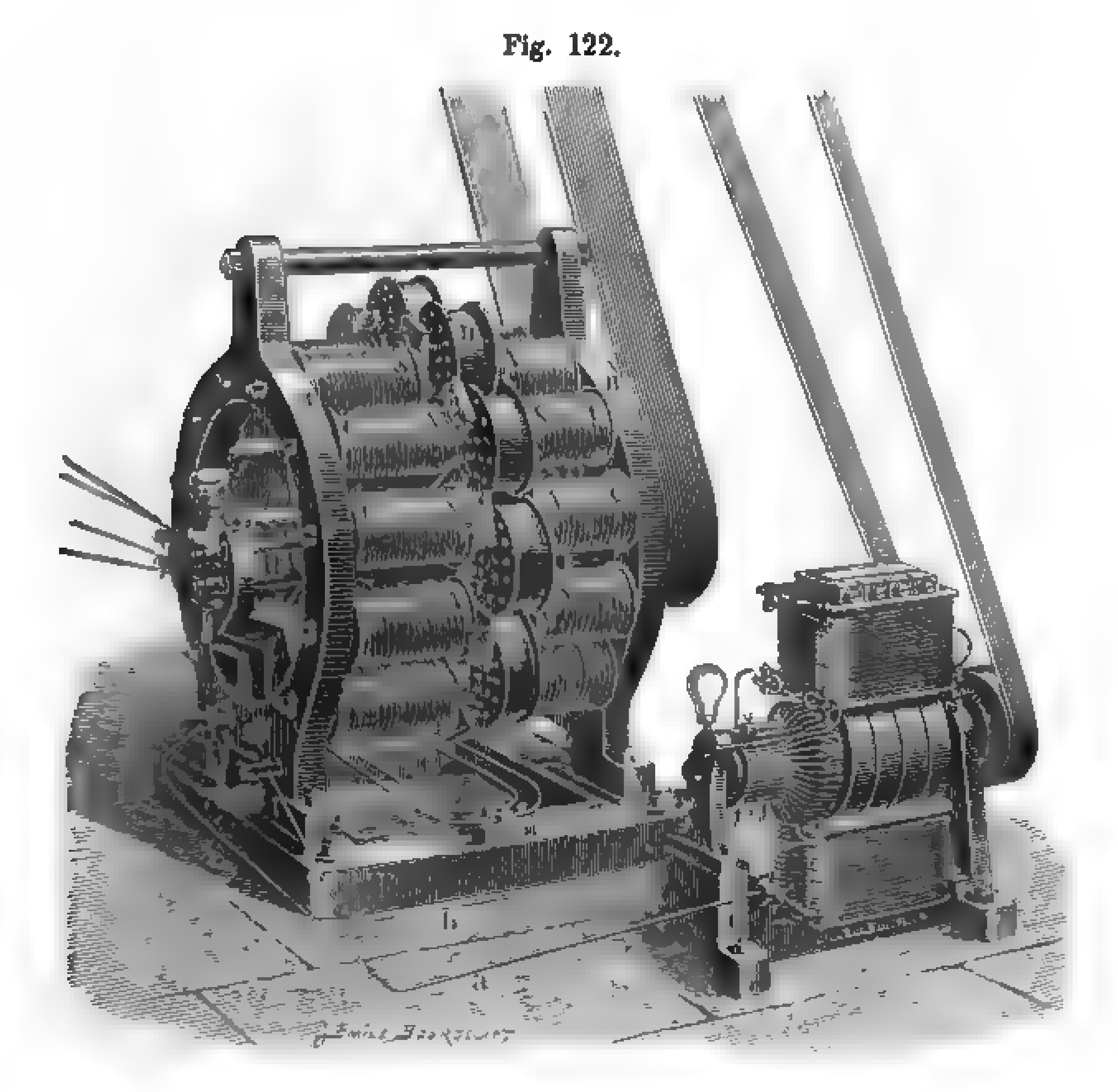
Aus mehreren Gründen ist es vortheilhaft, wie es auch durch *Gramme* und *Lontin* geschieht, diese bloss zur Magnetisirung dienenden Ströme aus einer besonderen dynamoelektrischen Maschine zu entnehmen, welche ganz getrennt von der Lichtmaschine mittelst einer besonderen Riemenscheibe von demselben Motor wie jene getrieben wird.

In der Figur 122 ist *I* die *Siemens*'sche dynamo-elektrische, *II* die Lichtmaschine; erstere (der Stromerzeuger, der Erreger oder Stromgeber genannt) liefert, sobald sie nach wenigen Secunden die richtige Tourenzahl, z. B. 800 in der Minute, macht, durch die Drähte *a b* den zur Sättigung der Elektromagnete in *II* erforderlichen continuirlichen und gleichgerichteten Strom, der von keinerlei äusseren Widerständen beeinflusst wird und daher stets von gleicher Stärke ist; die Lichtmaschine erzeugt dagegen die Wechselströme, deren Stärke bei constant bleibendem Magnetismus der Elektromagnete und gleich bleibender Tourenzahl, z. B. 1100 in der Minute, nur noch von den Schwankungen in den äusseren Leitungswiderständen, namentlich also im Lichtbogen selbst, abhängig ist.

Die in den Fig. 120, 121 und 122 dargestellte Maschine hat nur acht Elektromagnete und ebenso viele Drahtspulen. Die grösseren Wechselstrom-Maschinen, welche zur Speisung von 12 Lampen und mehr dienen, haben deren doppelt so viele; bei beiden Maschinen befinden sich, wie bereits oben gesagt worden, zur Fortleitung der sich bildenden Inductionsströme auf der Achse der Maschine eine der Anzahl der von der Maschine abzuleitenden Stromkreise entsprechende Anzahl von Contactringen isolirt von der Achse, und auf diesen gleiten die Schleiffedern oder Bürsten, mit welchen die Enden der Leitungen in geeigneter Weise durch Klemmen

verbunden sind. In der Figur 122 sind, wie dieses gewöhnlich der Fall ist, zwei solche Contactringe angenommen; demgemäss liefert die Maschine zwei mit vier Drahtenden nach aussen abgehende Stromkreise.

Fig. 122.



Siemens-Halske's Wechselstrom-Maschine mit dynamo-elektrischem Stromerreger.

Die vorstehend beschriebenen *Siemens-Halske*'schen Wechselstrom-Maschinen sind bereits aus dem Stadium langer Versuchsreihen vielfach in die Praxis eingeführt, und sie bewähren sich allerwärts so vollständig, namentlich in Verbindung mit den allerneuesten *v. Hefner-Alteneck*'schen

Lampen mit Differentialstrom, die wir später beschreiben werden, dass mit ihnen nicht bloss ein bedeutender Schritt auf dem Gebiete der elektrischen Beleuchtung vorwärts geschehen ist, sondern auch die so lange gesuchte Lösung der Theilung des elektrischen Lichtbogens wenigstens in gewissen weiten Grenzen gefunden erscheint.[1])

[1]) Vgl. Z. f. a. E., Bd. II, p. 61, *Schuckert's* dynamo-elektrische Maschine für Wechselströme, deren Beschreibung unterbleibt, da *Schuckert* dieselbe in die Praxis einzuführen nicht gedenkt. Auf der Pariser Ausstellung 1881 waren ausser den von uns beschriebenen Maschinen, welche bereits aus dem Stadium langer Versuchsreihen in die Praxis eingeführt sind, u. A. noch dynamo-elektrische Maschinen von *Dr. Hopkinson* (verfertigt von *Latimer Clark, Muirhead & Co.*), *Seeley* und *Tebbuts*, *Wilde* und *Gülcher* ausgestellt. Diese steht in ihrer Constructionsweise zwischen den Maschinen von *Gramme* einerseits und denjenigen von *Schuckert* andererseits. Bei den Maschinen von *Wilde* und *Seeley-Tebbuts* haben wir es im Wesentlichen mit Constructions-Principien zu thun, die uns aus der Wechselstrom-Maschine von *Siemens-Halske* bekannt geworden sind; letztere dürfte selbst *Hopkinson* als Vorbild gedient haben, wenngleich nicht geleugnet werden darf, dass *Hopkinson* neue Dispositionen getroffen hat, welche der Maschine ein eigenartiges Gepräge geben. Doch bleibt abzuwarten, ob das von *Hopkinson* befolgte Princip richtig ist und seine Maschine in der Praxis Verwendung findet.

VI. Abtheilung.

Versuche mit dynamo-elektrischen Maschinen

und theoretische Folgerungen aus denselben

von Dr. O. Frölich.[1])

Den Anlass zu den im Nachfolgenden beschriebenen Versuchen und theoretischen Betrachtungen gab die im Geschäft von *Siemens & Halske* immer dringender auftretende Nothwendigkeit, über die elektrische Kraftübertragung eine ausgedehnte Reihe von Versuchen anzustellen, welche durch das beinahe vollständige Fehlen von Versuchsmaterial und die Unsicherheit der bisher aufgestellten theoretischen Betrachtungen begründet war. Im Verlauf der Versuche nun, die über elektrische Kraftübertragung angestellt wurden, stellte es sich bald heraus, dass die Anzahl von Umständen, welche auf diese Uebertragung von wesentlichem Einflusse sind, eine bedeutende ist, und dass in Folge dessen die Versuche in sehr grossem Umfange angestellt werden müssten, wenn es nicht gelänge, eine einfache Theorie zusammenzustellen, welche die Vorgänge im Wesentlichen wiedergibt und mittelst

---

[1]) Da die erwähnte Arbeit durch zu weit gehende Abänderungen und Kürzungen nur an Uebersicht und Klarheit verloren haben würde, so entschlossen wir uns, dieselbe, soweit als erforderlich, fast wörtlich wiederzugeben, obschon keine einfache Lectüre, sondern ein tieferes Studium das volle Verständniss des Inhaltes ermöglicht. Nur einige Figuren und Tabellen sind mit Rücksicht auf den uns zustehenden Raum fortgeblieben; in §. 56 und 57 sind die Resultate anderer Forscher eingeschaltet worden.

welcher dann auch auf Fälle geschlossen werden könnte, welche nicht im Bereiche der angestellten Versuche liegen. Die Aufstellung einer solchen Theorie bedingte wiederum genaue Kenntniss der bei der einfachen dynamo-elektrischen Maschine auftretenden Vorgänge und ihrer Ursachen; kurz, es erwies sich bald als Bedürfniss, das ganze Gebiet dieser Vorgänge systematisch durchzuarbeiten, um die Fragen des Technikers mit einer für die Praxis genügenden Schärfe zu beantworten.

Das Nachstehende gibt in gedrängter Darstellung die Ergebnisse dieser Versuche.

Die bis dahin veröffentlichten Versuche über dynamo-elektrische Maschinen sind zwar ziemlich zahlreich (bezügl. Literatur s. *Meyer & Auerbach*, *Wiedemann's* Annalen, Bd. 8, p. 494) und theilweise mit grossem Fleisse und Sorgfalt durchgeführt; *Frölich* konnte jedoch nur wenig Nutzen aus denselben ziehen, da die bezüglichen Verfasser sich meist darauf beschränkten, für eine specielle Maschine Stromcurven zu ermitteln, ohne das derselben anhaftende Individuelle und das sämmtlichen dynamo-elektrischen Maschinen zukommende Allgemeine zu trennen und ohne die verschiedenen Ursachen des Stromes zu zergliedern.

In Bezug auf eine Frage, welche im Nachfolgenden nicht berührt wird und die bereits *Herwig*, *Wiedemann's* Annalen, Bd. 7, p. 193, behandelt hat, besitzt *Frölich* ebenfalls Versuche und Theorie, nämlich diejenige des „Angehens" von Maschinen, er behält sich jedoch die Beschreibung der bezüglichen Ergebnisse auf eine spätere Gelegenheit vor.

55. Gleichung des dynamo-elektrischen Gleichgewichts. „Wenn man das *Ohm*'sche Gesetz auf den Strom einer mit äusserem Widerstand verbundenen Magnetmaschine (Maschine mit permanenten Magneten) anwendet, so erhält man

$$1. \qquad J = \frac{nMv}{W};$$

hier ist J der Strom, v die Tourenzahl, W der Gesammtwiderstand des Kreises, n die Anzahl der Windungen auf dem Anker und M eine Grösse, welche *Frölich* als das Verhältniss der elektromotorischen Kraft zur Tourenzahl definirt und als den „wirksamen Magnetismus“ bezeichnet. Diese letztere Grösse ist die Summe der elektromotorischen Kräfte, welche die permanenten Magnete und das Eisen des Ankers auf eine Windung des Ankers bei der Tourenzahl Eins ausüben.

Dieselbe Gleichung gilt auch für die dynamo-elektrische Maschine; nur tritt bei dieser die Beziehung hinzu, dass dieselbe ihre Magnete selbst erzeugt, oder dass

$$2. \qquad M = f(J),$$

während bei der Magnetmaschine M eine beinahe constante Grösse ist.

Die Gleichung 1 ist zugleich diejenige des dynamo-elektrischen Gleichgewichts; denn beim „Angehen“ der Maschine, d. h. beim Ansteigen des Stromes vor der Erreichung des stationären Zustandes, ist der vom augenblicklich vorhandenen Magnetismus erzeugte Strom $\frac{nMv}{W}$ stets grösser als der zum Aufrechterhalten jenes Magnetismus nöthige Strom, und beide Stromgrössen werden erst gleich im stationären Zustand oder im dynamo-elektrischen Gleichgewicht.

Die Gleichung 1 in der Form, geschrieben:

$$\frac{J}{nM} = \frac{J}{f(J)} = \frac{v}{W}$$

enthält den wichtigen Satz, dass die Stromstärke nur eine Function des Verhältnisses der Tourenzahl zum Gesammtwiderstand ist. Dieser Satz gilt für sämmtliche dynamo-elektrische Maschinen und für beliebige Stellung des Commutators und bildet daher die Grundgleichung dieser Maschinen.

Die Gleichung 1 gibt auch Aufschluss über die **individuelle Leistungsfähigkeit** der einzelnen Maschine. Die einzige Grösse, welche die Individualität einer Maschine kennzeichnet und welche zu deren Kennzeichnung auch ausreicht, ist das Product des wirksamen Magnetismus M mit der Windungszahl n des Ankers. Ist diese letztere Zahl gegeben und der wirksame Magnetismus als Function der Stromstärke für eine bestimmte Maschine und bestimmte Commutatorstellungen bekannt, so lässt sich stets die Stromstärke aus Tourenzahl und Gesammtwiderstand berechnen. Gleichung 1 zeigt aber auch, welche Form diese Function haben muss, um die Maschine möglichst leistungsfähig zu machen.

Wäre der wirksame Magnetismus einfach proportional der Stromstärke, so hätte Gleichung 1 keinen Sinn mehr; es gibt in diesem Falle im Allgemeinen keinen stationären Zustand mehr, der Strom würde ins Unendliche anwachsen. Es tritt also nur dynamo-elektrisches Gleichgewicht ein, wenn der Magnetismus von der Proportionalität mit der Stromstärke abweicht, was in Wirklichkeit stets der Fall ist.

Setzen wir $nM = cJ - \varphi(J)$, wo $\varphi(J)$ diese Abweichung vorstellt, so gibt Gleichung 1:

$$\frac{v}{W} = \frac{1}{c - \frac{\varphi(J)}{J}};$$

hieraus folgt, dass für eine bestimmte Stromstärke die Tourenzahl um so kleiner ist, je kleiner die Abweichung des Magnetismus von der Proportionalität ist. Eine dynamo-elektrische Maschine ist also um so **vollkommener**, je **näher der wirksame Magnetismus der Proportionalität mit der Stromstärke** kommt.

56. Prüfung der Gleichgewichtsgleichung. An einer dynamo-elektrischen Maschine der grössten Sorte von *Siemens & Halske* (Modellbezeichnung D_0) wurden ausgedehnte Ver-

suche über die Gültigkeit der Hauptgleichung angestellt, indem Tourenzahl und Widerstand in möglichst weiten Grenzen variirt und die zugehörigen Stromstärken gemessen wurden.

Die Strommessung geschah an einem Elektrodynamometer, wie es in *Frölich's* Buche über Elektricität und Magnetismus, p. 402, beschrieben ist; die Constante desselben war durch Kupferniederschläge bestimmt. Die Strommessungen sind in der Einheit $\frac{\text{Daniell}}{\text{S. E.}}$ ausgedrückt, indem das *Daniell* mit *Kohlrausch* als diejenige elektromotorische Kraft definirt wird, welche in 1 S. E. einen Strom erzeugt, der in der Stunde 1,38g Kupfer niederschlägt.

Die Maschine wurde nach einander in drei verschiedenen Wickelungen geprüft, deren Daten nachstehend folgen:

Wickelung.	Schenkel.			Anker.		Gesammt-Widerstand der Maschine
	Mittlerer Abstand der Windungen vom Eisen. r	Anzahl der Windungen. m	Widerstand. s	Anzahl der Windungen. n	Widerstand. a	$a + s$
	mm		E		E	E
I.	10,5	456	0,290	288	0,145	0,435
II.	21	856	0,580	288	0,145	0,725
III.	14	1960	4,14	1296	3,00	7,14

Der äussere Widerstand bestand aus einem mit Unterabtheilungen versehenen System von Flacheisen, welches frei in der Luft ausgespannt war und auch durch die hier auftretenden starken Ströme verhältnissmässig wenig erwärmt wurde; der jeweilen eingeschaltete äussere Widerstand wurde nach jeder einzelnen Messung bestimmt.

Die Stellung der Bürsten am Commutator konnte beliebig verändert werden; sie wurde bei jedem Versuche so gewählt, dass der Strom ein Maximum war.

Nachstehende Tabellen I, II, III enthalten die Versuchsresultate für die Wickelungen I, II, III. Die Tabellen ent-

halten: die Tourenzahl per Minute v, den Gesammtwide stand W in S. E., die Stromstärke J in $\frac{Daniell}{S. E.}$, das Ve hältniss $\frac{v}{W}$ und den wirksamen Magnetismus $M = \frac{JW}{nv}$

Tabelle I. Wickelung I.

v Touren.	W Gesammt-Widerstand.	J Stromstärke.	$\frac{v}{W}$	$M = \frac{JW}{nv}$
506	2,82	30,1	179	0,000 583
608	2,91	35,3	209	0,000 587
712	2,98	41,5	239	0,000 604
791	3,03	45,6	261	0,000 611
902	3,11	49,2	290	0,000 590
1017	3,17	54,7	322	0,000 590
112	2,77	0,30	40,4	0,000 026
203	2,78	0,58	73,0	0,000 028
301	2,79	7,18	108	0,000 233
400	2,81	19,9	143	0,000 486
390	2,83	19,9	138	0,000 500
510	2,70	32,0	189	0,000 587
610	2,69	40,2	227	0,000 615
709	2,74	44,7	259	0,000 601
812	2,80	50,4	290	0,000 604
919	2,71	55,7	339	0,000 569
105	2,47	0,29	42,5	0,000 024
194	2,51	1,20	77,3	0,000 064
307	2,52	15,5	122	0,000 441
399	2,54	25,9	157	0,000 573
105	1,95	0,38	53,9	0,000 024
203	2,01	1,88	101	0,000 065
300	2,02	23,7	148	0,000 556
401	2,04	33,9	197	0,000 601
501	2,14	41,5	234	0,000 615
608	2,18	48,6	279	0,000 604
704	2,22	53,4	317	0,000 583
822	2,22	59,9	370	0,000 563

ı.	W Gesammt-Widerstand.	J Stromstärke.	$\frac{v}{W}$	$M = \frac{JW}{nv}$
	1,47	0,88	75,5	0,000 042
	1,57	14,7	126	0,000 403
	1,55	33,6	194	0,000 601
	1,57	45,9	255	0,000 625
	1,65	52,0	302	0,000 597
	1,70	58,8	354	0,000 576
	1,74	67,6	418	0,000 559
	1,25	1,06	87,2	0,000 042
	1,31	27,5	162	0,000 590
	1,33	41,5	229	0,000 629
	1,37	53,4	302	0,000 615
	1,43	65,6	414	0,000 549
	1,46	58,5	338	0,000 601
	0,92	6,9	124	0,000 194
	0,94	39,5	220	0,000 622
	0,97	58,4	323	0,000 629
	1,01	71,1	411	0,000 601
	1,02	79,8	487	0,000 569
	0,65	27,5	168	0,000 566
	0,72	50,9	269	0,000 656
	0,73	71,3	401	0,000 618
	0,73	95,2	581	0,000 569
	0,48	38,8	219	0,000 615
	0,56	63,0	346	0,000 632
	0,56	88,2	525	0,000 583

belle II. Wickelung II.

n.	W Gesammt-Widerstand.	J Stromstärke.	$\frac{v}{W}$	$M = \frac{JW}{nv}$
	3,10	10,4	64,8	0,000 556
	3,14	24,0	132	0,000 646
	3,24	33,9	188	0,000 625
	3,31	46,4	245	0,000 656

v Touren.	W Gesammt-Widerstand.	J Stromstärke.	$\frac{v}{W}$	$M = \frac{JW}{nv}$
206	2,12	18,4	97,2	0,000 656
408	2,12	40,9	192	0,000 736
607	2,08	62,9	292	0,000 750
195	1,27	32,1	154	0,000 726
399	1,29	67,7	309	0,000 760
207	3,24	10,4	63,9	0,000 566

Tabelle III. Wickelung III.

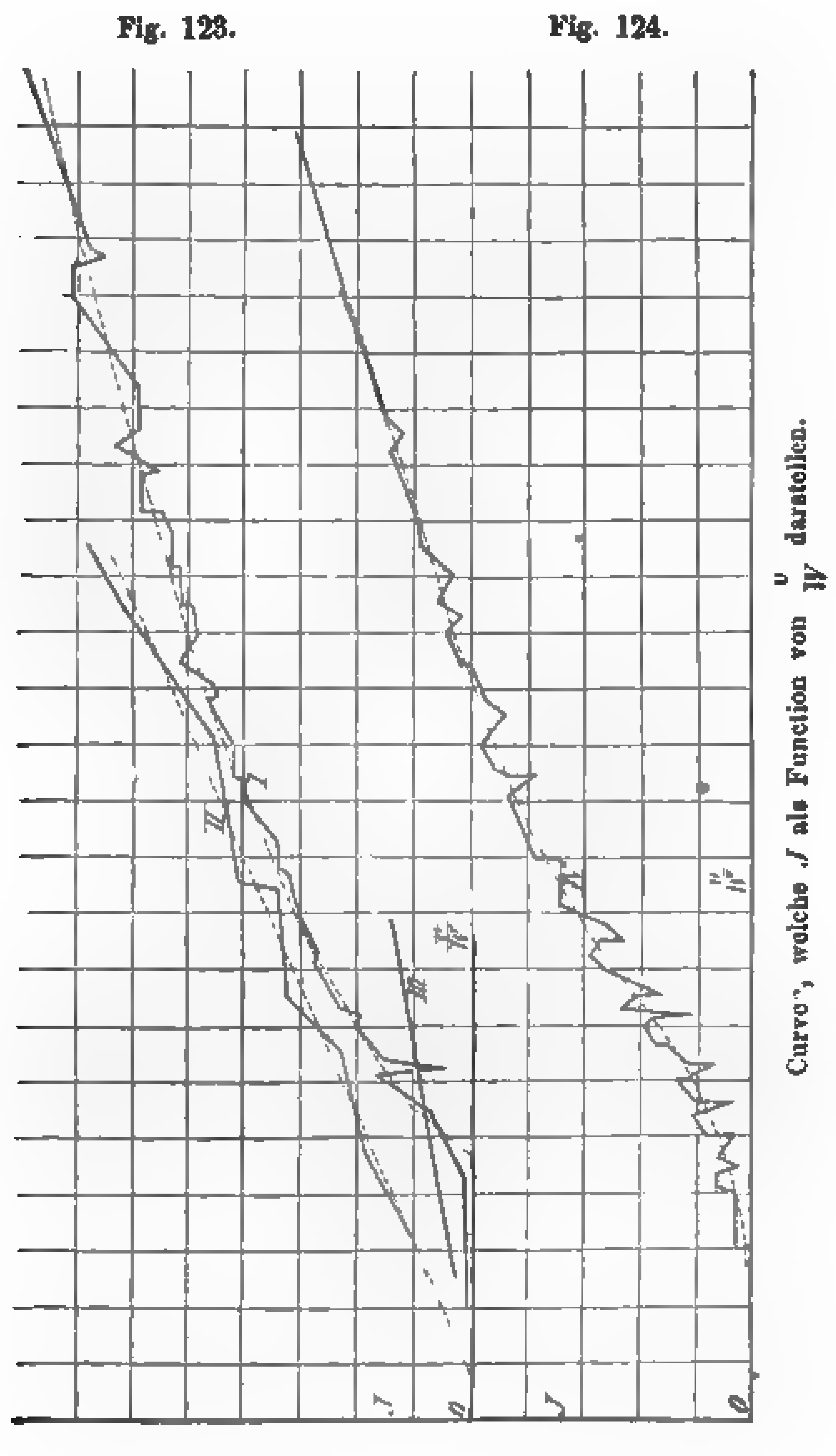
v Touren.	W Gesammt-Widerstand.	J Stromstärke.	$\frac{v}{W}$	$M = \frac{JW}{nv}$
202	19,0	7,95	10,6	0,000 577
304	19,2	12,6	15,9	0,000 612
199	22,7	5,95	8,77	0,000 524
301	23,0	10,2	13,1	0,000 601
405	23,3	13,6	17,4	0,000 604

Die Fig. 123 enthält dieselben Versuche aufgetragen (J als Function von $\frac{v}{W}$). In Curve III sind die Werthe von $\frac{v}{W}$ in zehnfach grösserem Massstabe aufgetragen.

Aus den Versuchen ergibt sich, dass im Wesentlichen die Stromstärke nur eine Function des Verhältnisses $\frac{v}{W}$ ist; wären v und W Variable, welche beide unabhängig von einander die Stromstärke beeinflussen, so liessen sich die Stromstärken nicht mehr durch eine einzelne Curve darstellen; die Darstellung durch eine einzelne Curve genügt aber offenbar den Beobachtungen, und die Abweichungen derselben von dieser Curve tragen den Charakter von Versuchsfehlern.

Streng richtig ist dies jedoch nicht. Wäre J nur eine Function von $\frac{v}{W}$, so müsste, wenn für eine bestimmte Collectorstellung und bestimmte Werthe von v und W eine

Fig. 123. Fig. 124.



Curve, welche J als Function von $\frac{v}{W}$ darstellen.

bestimmte Stromstärke auftritt, dieselbe sich nicht verändern, wenn Tourenzahl und Gesammtwiderstand in demselben Verhältnisse verändert werden. Dies ist nicht genau der Fall, sondern man muss, wenn v und W beide gleichmässig vergrössert werden, den Collector ein wenig im Sinne der Drehung des Ankers drehen, um dieselbe Stromstärke zu erhalten wie vorher. Diese Erscheinung jedoch, welche auf eine Verschleppung des Magnetismus des Ankers durch die Drehung deutet, ist praktisch von wenig erheblichem Einfluss; wir lassen dieselbe daher im Folgenden unberücksichtigt, obschon bei den Versuchen bei der Einstellung des Collectors stets darauf Rücksicht genommen wurde."

Es bleibt noch zu erörtern, ob die Versuchsreihen von *Hagenbach*, *Meyer* und *Auerbach*, welche an einer *Gramme*'schen Maschine angestellt wurden, mit der Grundgleichung stimmen.

57. Die Versuche Hagenbach's wurden in dem physicochemischen Institute der Universität in Basel mit einer *Gramme*'schen Maschine aus der Maschinenbau-Anstalt *Heilmann, Ducommun & Steinlen* zu Mülhausen angestellt. Diese Maschine war von der Art, wie sie in Fig. 68 abgebildet ist; die Breite der Maschine und die Länge des Elektromagnets betrug 27 cm; auf der Achse befanden sich zwei Ringe, jeder von 48 Spulen; der ganze ausserhalb der Maschine circulirende Strom ging nach dem dynamo-elektrischen Princip auch um den Elektromagnet.

Durch die Methode der *Wheatstone*'schen Brücke ergab sich der galvanische Widerstand

für den Elektromagnet .... 1.26 *Siemens* Einheiten,
für den Gesammtdraht beider Ringe 0,62 „ „

im Ganzen... 1,88 *Siemens* Einheiten.

elektromotorische Kraft der dynamo-elektrischen Maschine

ist eine veränderliche Grösse und hängt ab von der Geschwindigkeit der Rotation und von der Intensität des den Elektromagnet umkreisenden Stromes, die ihrerseits wieder von dem Widerstande der äusseren Leitung abhängig ist.

Um die zur Berechnung der elektromotorischen Kraft erforderlichen Messungen der Stromstärke auszuführen, leitete *Hagenbach* einen kleinen Theil des Stromes ab, um ihn durch ein Spiegel-Galvanometer zu messen. Ein vorläufiger Versuch hatte ergeben, wie viel Cubikmeter Knallgas der Hauptstrom in der Minute liefern musste, um das Galvanometer einen Grad abzulenken, wobei, wie gewöhnlich, als Einheit der Stromstärke das auf 0° und 760 mm reducirte Volumen Knallgas genommen wurde, welches der Strom durch die Zersetzung des Wassers in einer Minute zu liefern vermochte. Ein Cubikcentimeter Gas entspricht 0,0009926 chemischen Einheiten von 9 mg in der Secunde zersetzten Wassers. Aus dem Werthe der Stromstärke und dem des Widerstandes liess sich dann der Werth der elektromotorischen Kraft ableiten. *Hagenbach* drückte die letztere aus in Elementen der *Deleuil*'schen Zink-Kohlen-Kette, wie er sie gewöhnlich zur Erzeugung des elektrischen Lichtes anwandte, und schätzte dieselbe für je ein Element auf 0,0192 chemische Einheiten oder 1,6 des *Daniell*'schen Elementes.

Um vorläufig auszumitteln, in welchem Maasse die Stromstärke und die elektromotorische Kraft von der Rotationsgeschwindigkeit des Ringes und dem äussern Widerstande abhängen, wurden verschiedene äussere Widerstände eingeschaltet, so dass die Maschine mit verschiedener Geschwindigkeit ging, wobei dann die Intensität des jedesmaligen Stromes gemessen und hieraus die elektromotorische Kraft abgeleitet wurde. Die so erhaltenen Resultate waren folgende:

I. Der Stromkreis wurde durch einen so kurzen und dicken Draht gebildet, dass sein Widerstand unberücksichtigt bleiben konnte. Man hatte also einen äussern Widerstand

gleich Null und einen Gesammtwiderstand gleich 1,88 *Siemens* Einheiten.

Tourenzahl per Minute.	Intensität des Stromes in Cubikcentimetern Knallgas per Minute.	Elektromotorische Kraft in *Deleuil*'schen Elementen.
285	46,0	4,5
386	78,0	7,6
421	86,0	8,4
495	97,4	9,4
537	112,6	10,9
584	123,8	12,0
744	150,7	14,6
817	160,3	15,6
879	166,6	16,2
930	172,5	16,8
978	177,7	17,3
1045	183,0	17,8
1082	186,8	18,2

II. Der Schliessungsdraht wurde durch einen längern isolirten Draht mit einem Widerstande von 0,5 S. E. gebildet, so dass der Gesammtwiderstand 2,98 S. E. betrug

Tourenzahl per Minute.	Intensität des Stromes in Cubikcentimetern Knallgas per Minute.	Elektromotorische Kraft in *Deleuil*'schen Elementen.
253	9,3	1,4
365	44,4	5,5
450	69,0	8,5
597	96,8	11,6
818	129,8	16,0
906	140,7	17,3
981	147,9	18,2
1109	161,7	19,9
1175	166,4	20,5
1283	176,3	21,7

III. Der Schliessungsdraht bestand aus einem noch längern Drahte von 2 S. E., was einen Gesammtwiderstand von 3,88 S. E. ergab.

Tourenzahl per Minute.	Intensität des Stromes in Cubikcentimetern Knallgas per Minute.	Elektromotorische Kraft in *Deleuil*'schen Elementen.
539	41,0	8,2
707	70,0	14,0
905	91,2	18,3
1178	110,5	22,2
1416	129,8	26,0
1584	142,1	28,5

„Wenn man diese Resultate graphisch darstellt und dabei die Zahl der Umläufe als Abscissen und die Stromstärken als Ordinaten annimmt, so erhält man Curven, die wenig von der geraden Linie abweichen, doch eine schwache Concavität nach unten zeigen. Die Stromstärke wächst also sehr nahe proportional der Rotationsgeschwindigkeit. Vergrössert man noch diese Geschwindigkeit durch eine stärkere Triebkraft,[1]) so würde man wohl die Stromstärke noch erhöht haben, wenn nicht die Maschine sich bei Umläufen über 2000 in der Minute zu sehr erhitzt hätte.

Wenn man aus obigen Tafeln die elektromotorischen Kräfte für eine gleiche Zahl von Umläufen, aber für verschiedene Stromstärken, oder die elektromotorischen Kräfte für dieselbe Stromstärke, aber verschiedene Zahl von Umläufen durch Interpolation ableitet, so erkennt man leicht, dass für schwache Stromstärken die elektromotorische Kraft mit der Stromstärke wächst. Wenn aber letztere so gross wird, dass sie 80cbcm Gas in der Minute entwickelt, so nimmt die elektromotorische Kraft nicht merklich mehr mit der Stromstärke zu, ohne Zweifel, weil der schwache Strom hinreicht zur Erzeugung einer vollständigen Magnetisirung. Ueberdies erkennt man, dass für eine constante Stromstärke die elektromotorische Kraft nahezu proportional ist der

---

[1]) Dieselbe betrug ungefähr 1½ Pferdekraft und wurde der städtischen Wasserleitung entnommen.

Anzahl der Umläufe, was nach dem Inductionsgesetz so sein muss."

Nach *Hagenbach's* Angabe ergeben die Versuche nahezu Proportionalität zwischen der Tourenzahl und der Stromstärke; die Curve soll, abgesehen von einer schwachen Concavität, nach unten geradlinig sein. Geht man aber auf die Tabellen genauer ein, so findet man, dass *i* zunächst rascher als *n* und erst später langsamer als *n* steigt.

58. Versuche Meyer's und Auerbach's.[1]) Diesem Verhalten begegnen wir auch bei den Resultaten *Meyer's* und *Auerbach's*. Diese benutzten bei ihren ausgedehnten Versuchen eine *Gramme*'sche Maschine, welche in der Fabrik von *Mignon & Rouart* nach dem in Fig. 69 gegebenen Modell gebaut war und einen innern Widerstand von 1,02 S. E. besass. Bei den Versuchen war der Gesammtwiderstand *w* im Minimum gleich 1,78 S. E. Damit nämlich die *Gramme*'sche Maschine die Strom und Widerstand messenden Apparate nicht beeinflusste, wurden die Zuleitungsdrähte durch mehrere Zimmer geführt. Die Stromstärke wurde mittelst Fernrohr und Scala durch eine Spiegeltangenten-Bussole gemessen, deren Magnet zum Zwecke der Schwächung der Stromwirkung sammt Spiegel auf der Axe des Stromkreises verschoben und so in beliebige Entfernung von der Ebene desselben gebracht werden konnte. Die Drehungsgeschwindigkeit *n*, d. h. die Tourenzahl pro Minute, wurde an dem Handrade bezw. an der Dampfmaschine mit Hülfe von Chronometer und Mètronom, zum Theil mit Benutzung der von den Geräuschen erzeugten Schwebungen bis auf ganze Umdrehungen genau gemessen. Der Widerstand wurde nach der Methode von *Wheatstone* mittelst eines *Siemens*'schen Universal-Widerstandskastens gemessen, und zwar bei stärkeren Strömen vor und nach jedem Versuche. Zu diesem

[1]) *Wiedemann's* Annalen, Bd. 8, p. 495.

: war ein Stöpselumschalter in den Kreis eingeschaltet,
r ihn während der Strommessung unmittelbar schloss,
gegen während der Widerstandsmessung zur vierten
les *Wheatstone*'schen Vierecks machte. Den Strom
ein *Daniell*'sches Element, die Messung wurde mit
Siemens'schen aperiodischen Galvanometer ausgeführt,
s gestattete, nach der Ausführung jedes Stromver-
den Widerstand rasch zu bestimmen, ehe durch Aus-
ng merkliche Abkühlung eingetreten war.

yer und *Hagenbach* stellen die Zahlen-Ergebnisse
Versuche in folgender Tabelle zusammen, welche für
Werthepaar von n und w das zugehörige i in Viel-
von $\frac{\textit{Grove}}{\textit{Siemens}}$ angibt. [1])

	70	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800
5	0,0962	0,160	0,346	1,027	2,738	4,64	7,84	10,46	12,78	14,30	16,05
8	0,0776	0,127	0,236	0,87	2,26	4,10	6,92	9,04	10,82	12,50	14,42
5	0,069	1,09	0,175	0,62	1,66	2,99	6,01	8,51	10,21	11,84	12,89
4	0,059	0,99	0,156	0,54	1,39	2,52	5,10	7,80	9,53	10,70	11,94
	0,055	0,90	0,137	0,50	1,23	2,11	4,26	6.92	8,41	9,55	11,03
9	0,0536	0,0837	0,122	0,47	1,08	1,77	3,54	5,87	7,70	8,98	10,12
9	0,044	0,068	0,0947	0,38	0,74	1,10	2,13	3,58	5,51	7,00	8,52
8	0,035	0,050	0,0730	0,159	0,296	0,435	0,791	1,58	3,40	5,29	7,04
4	0,0259	0,0373	0,0574	0,0913	0,152	0,221	0,383	1,103	2,74	3,88	5,06
0	0,0196	0,028	0,0418	0,061	0,092	0,135	0,228	0,51	0,82	1,14	1,37
2	0,0133	0,0194	0,0289	0,0361	0,0647	0,0837	0,121	0,224	0,392	0,430	0,466
7	0,0064	0,0092	0,0129	0,017	0,0245	0,0302	0,0418	0,0560	0,0711	0,850	0,107
6	0,0026	0,0036	0,0053	0,0080	0,0099	0,0133	0,0175	0,0270	0,0331	0,0372	0,0418
4	0,0007	0,0009	0,0012	0,0016	0,0020	0,0026	0,0034	0,0046	0,0059	0,0074	0,0091

---

[1]) Vgl. auch die Versuche *Schwendler's*: *Wiedemann's* Annalen, ›r 3, p. 823, sowie *Dr. John Hopkinson*: On electric lighting. per. Proceedings of the meeting of the institution of mechanical s in London 1879.

59. Schlussfolgerungen Frölich's. „Stellt man nach der von *Meyer* und *Auerbach* gegebenen Schlusstabelle J als Function von $\frac{v}{W}$ dar, so erhält man Curve IV, Fig. 124. Dieselbe zeigt allerdings, dass die Abweichungen der Beobachtungen von der resultirenden Curve grösser sind, als nach der Genauigkeit der Beobachtungen erwartet werden sollte; die Erklärung dieser Abweichung dürfte jedoch darin liegen, dass bei diesen Versuchen der Collector stets dieselbe Stellung einnahm. Im Wesentlichen zeigt sich auch hier die Stromstärke nur als eine Function des Verhältnisses $\frac{v}{W}$.

Die Art der Abhängigkeit der Stromstärke von dem Verhältnisse der Tourenzahl zum Widerstande geht aus der Fig. 123 deutlich hervor; dieselbe ist natürlich nur ein individuelles Merkmal der untersuchten Maschine, das von der Construction, der Wickelung u. s. w. abhängt.

Die bei der ersten, verhältnissmässig schwachen Wickelung der Schenkel erhaltene Curve I stimmt in ihrer Form mit der von *Meyer* und *Auerbach* und Anderen gefundenen Curven überein: einem anfänglichen, ziemlich plötzlichen Steigen folgt bald eine längere Periode, in welcher die Curve beinahe genau geradlinig verläuft, während sie später sich von dieser Geraden allmählich entfernt.

Die bei der zweiten, beinahe doppelt so starken Wickelung erhaltene Curve II dagegen, die allerdings auf viel weniger und schlechteren Beobachtungen beruht, ergibt im Wesentlichen eine Gerade, ebenso Curve III.

Nun erstreckt sich aber der Bereich der für diese Maschine beim praktischen Gebrauche vorkommenden Stromstärken höchstens von 20 bis 50 $\frac{\textit{Daniell}}{\text{S. E.}}$ bei den Wicke-

lungen I und II; innerhalb dieses Bereiches lässt sich auch der Curve I eine Gerade unterschieben; wir gehen also nicht zu weit, wenn wir behaupten, dass für die Praxis die Stromstärke als lineare Function des Verhältnisses Tourenzahl : Widerstand anzusehen ist.

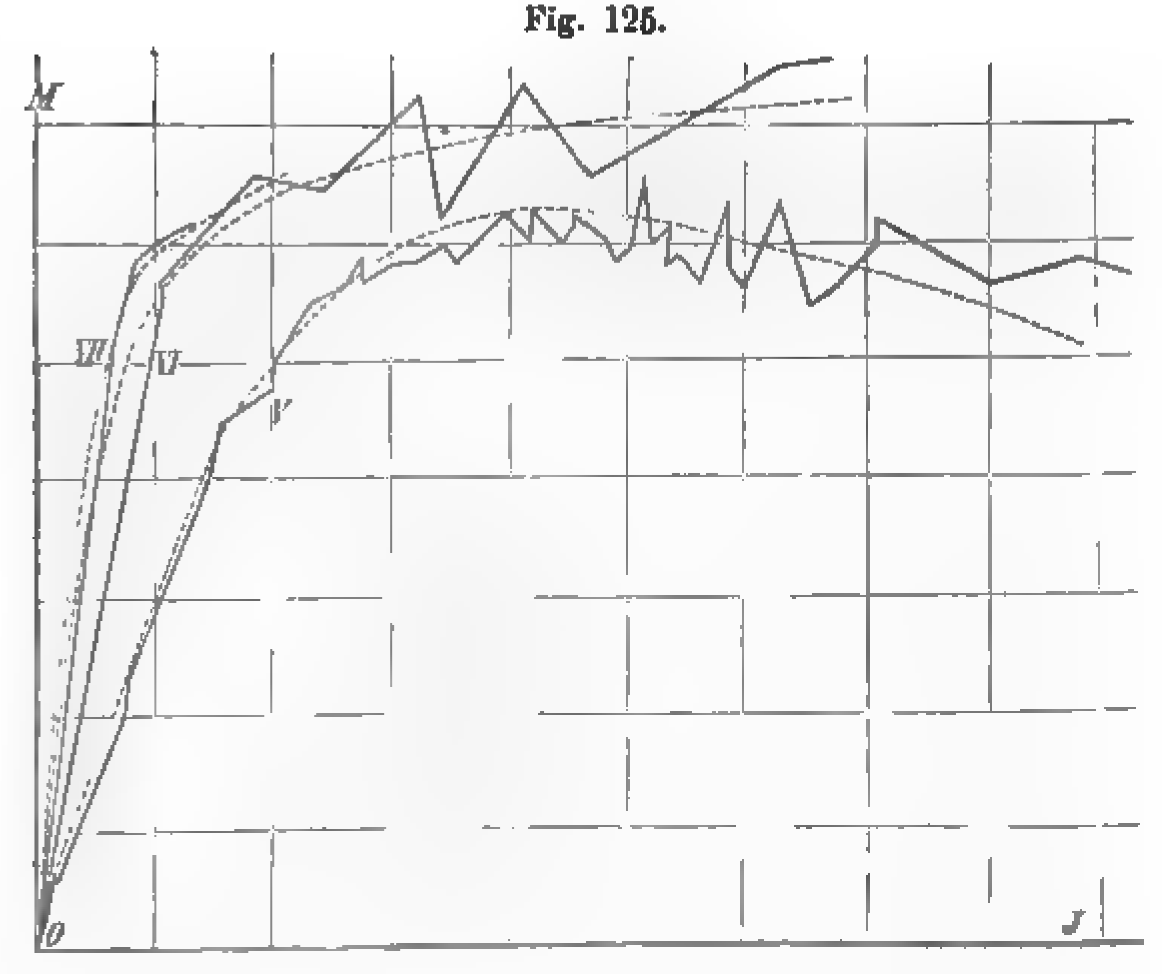
Dieses Resultat, welches im Wesentlichen für alle Maschinen des Systems *v. Hefner-Alteneck* und auch für die von *Meyer* und *Auerbach* untersuchte *Gramme*'sche Maschine gilt und welches alle auf diese Maschinen bezüglichen Fragen wesentlich vereinfacht, setzt die Dynamo-Maschine in eine eigenthümliche Parallele zu der Magnetmaschine. Trotzdem der wirksame Magnetismus der ersteren mit dem Strome fortwährend wächst (in den Grenzen der Praxis), während derjenige der letzteren beinahe constant bleibt, ist bei beiden Maschinen das Wachsthum der Stromstärke proportional dem Wachsthume des Verhältnisses Tourenzahl : Widerstand. Es herrscht nur der wichtige Unterschied zwischen beiden Maschinen, dass die Magnetmaschine auch bei der langsamsten Drehung Strom gibt, während die Dynamomaschine erst von einem bestimmten Werthe des Verhältnisses $\frac{v}{W}$ an, welchen wir im Folgenden die „todten Touren" nennen, Strom gibt.

Der Fehler, den wir durch diese Darstellung gegenüber der Wirklichkeit begehen, lässt sich an der Hand der beschriebenen Curven beurtheilen; derselbe ist für die praktischen Verhältnissen ohne Einfluss.

60. Der wirksame Magnetismus. Die Abhängigkeit des wirksamen Magnetismus von der Stromstärke wird durch die Curven V, VI, VII, Fig. 125, bezw. für die Wickelungen I, II, III nach den Tabellen I, II, III dargestellt (wirksamer Magnetismus Ordinate, Stromstärke Abscisse). Diese Abhängigkeit ist bei den oben genannten Maschinen im Allgemeinen dadurch charakterisirt, dass zu

Anfang der wirksame Magnetismus proportional der Stromstärke ist, dann aber immer mehr von der Proportionalität abweicht und asymptotisch in ein Maximum übergeht. Für noch stärkere Ströme muss der Magnetismus sogar allmählich von diesem Maximum herabsinken; denn wenn die Schenkel bis zum Maximum magnetisirt sind, muss die Ein-

Fig. 125.



Die Abhängigkeit des wirksamen Magnetismus von der Stromstärke.

wirkung des Stromes auf den Magnetismus des Ankers, welche in Verdrehung und Schwächung besteht, immer noch zunehmen, der ganze „wirksame Magnetismus“ also abnehmen; indessen findet dies nur für Stromstärken statt, welche die in der Praxis vorkommenden weit übersteigen. Wenn wir uns daher auf die Darstellung der praktischen Verhältnisse beschränken, können wir annehmen, dass der wirksame Magnetismus schliesslich ein constantes Maximum erreicht.

Die beiden Merkmale, die anfänglich auftretende Pro-

portionalität und das schliesslich erreichte Maximum, sind die Ursache davon, dass die Stromstärke eine lineare Function von $\frac{v}{W}$ ist. Denn, umgekehrt, setzen wir

$$\frac{v}{W} = a + b\,J,$$

also

$$3. \qquad J = \frac{1}{b}\left(\frac{v}{W} - a\right),$$

wo a die todten Touren und $\frac{1}{b}$ der Proportionalitätsfactor, so folgt für M

$$4. \qquad M = \frac{1}{n}\,\frac{J}{\frac{v}{W}} = \frac{J}{a + bJ};$$

hier ist $\frac{1}{a}$ der Factor der anfänglichen Proportionalität zwischen M und J, und $\frac{1}{b}$ der Maximumswerth des wirksamen Magnetismus.

Die oben gegebenen, für den wirksamen Magnetismus gefundenen Curven zeigen nun, dass das für die Leistungsfähigkeit der Maschinen so schädliche Maximum bei den oben genannten Constructionen doch verhältnissmässig früh eintritt, und es handelte sich darum, die Ursache dieses frühen Eintrittes klarzulegen.

Es war zu vermuthen, dass diese Ursache namentlich in der magnetisirenden Einwirkung des Stromes in den Ankerdrähten liege. Denn diese Einwirkung wirkt der von den Schenkeln ausgehenden magnetisirenden Kraft entgegen, und es wird in Folge dessen sowohl die magnetische Axe des Ankers gedreht, als die stromerzeugende Kraft desselben geschwächt, im Ganzen also der wirksame Magnetismus verringert; es muss daher das Maximum dieses

letzteren früher eintreten, als es ohne diese Einwirkung der Fall wäre.

Um die beiden gegen einander wirkenden Ursachen des wirksamen Magnetismus, die magnetisirende Kraft der Schenkelwickelung und diejenige der Ankerdrähte zu trennen, wurde der Strom einer zweiten Dynamomaschine durch die Schenkelwickelung geschickt, der durch hohen Widerstand geschlossene Anker gedreht und die an seinen Polen auftretende Potentialdifferenz mittelst des sogenannten Torsions-Galvanometers (s. Elektrotechnische Zeitschrift, Juni 1880, p. 200) gemessen. Der Collector wurde wieder auf das Maximum der Spannungsdifferenz eingestellt und gelangte dadurch beinahe in die demselben zukommende natürliche Lage, d. h. in die Ebene, welche durch die beiden in keinem magnetischen Felde befindlichen Stellen des Ankers geht. Den wirksamen Magnetismus erhielt man, indem man die elektromotorische Kraft oder Potentialdifferenz an den Polen durch die Tourenzahl und die Windungszahl des Ankers dividirte.

Diese Versuche, für alle Wickelungen der Schenkel durchgeführt, liefern die in den Tabellen IV, V, VI enthaltenen Ergebnisse.

Tabelle IV. Wickelung I.

v Touren.	J Primärer Strom.	E Elektromotorische Kraft.	$M = \frac{E}{nv}$ Wirksamer Magnetismus.
164	4,91	11,8	0,000 243
200	10,3	19,3	0,000 333
202	8,78	18,8	0,000 323
303	13,7	41,9	0,000 483
296	16,8	44,6	0,000 524
288	18,8	47,3	0,000 569

v Touren.	J Primärer Strom.	E Elektromotorische Kraft.	$M = \frac{E}{nv}$ Wirksamer Magnetismus.
405	28,1	77,9	0,000 667
420	26,0	78,5	0,000 649
430	24,4	78,5	0,000 635
415	21,2	71,8	0,000 601
440	12,8	56,4	0,000 444
506	15,5	72,5	0,000 497
503	17,6	77,9	0,000 538
494	21,2	83,9	0,000 590
465	24,8	88,4	0,000 632
498	28,7	95,3	0,000 663
486	33,8	97,3	0,000 694
488	33,6	98,7	0,000 701
486	33,3	94,0	0,000 670
492	34,1	95,3	0,000 674
550	40,0	114	0,000 719
587	43,6	122	0,000 722
578	42,1	121	0,000 726
570	41,1	115	0,000 698
610	32,5	121	0,000 691
625	26,6	122	0,000 677
634	27,8	119	0,000 653
595	20,7	99,3	0,000 580
708	24,8	127	0,000 625
680	30,5	130	0,000 663
680	34,1	134	0,000 681
698	39,0	144	0,000 715
760	45,4	162	0,000 740
808	47,0	175	0,000 750
828	48,0	178	0,000 747
804	47,0	170	0,000 733
830	42,3	175	0,000 729
792	33,0	153	0,000 691
806	31,0	152	0,000 656
832	25,3	149	0,000 622
790	19,1	121	0,000 531

Tabelle V. Wickelung II.

v Touren.	J Primärer Strom.	E Elektromotorische Kraft.	$M = \frac{E}{nv}$ Wirksamer Magnetismus.
205	13,4	32,0	0,000 542
193	19,0	36,0	0,000 649
192	27,7	40,0	0,000 722
202	30,8	45,0	0,000 774
403	13,8	70,4	0,000 608
400	18,9	78,0	0,000 677
399	27,6	86,0	0,000 750
399	30,8	88,6	0,000 771
823	13,8	151,2	0,000 635
816	18,9	158,0	0,000 674

Tabelle VI. Wickelung III.

v Touren.	J Primärer Strom.	E Elektromotorische Kraft.	$M = \frac{E}{nv}$ Wirksamer Magnetismus.
246	12,6	230	0,000 721
237	11,0	215	0,000 700
240	9,00	209	0,000 672
236	7,50	193	0,000 631
232	5,30	163	0,000 542
265	3,95	159	0,000 463
256	2,40	105	0,000 316
254	1,75	66,7	0,000 203

Diese Resultate lassen sich durch die Interpolationsformel 4 mit durchaus genügender Genauigkeit darstellen.

Wir stellen nun die Interpolationsformeln zusammen, indem wir den wirksamen Magnetismus mit Strom im Anker mit M, denjenigen ohne Strom im Anker mit M' bezeichnen.

Bei Wickelung I ist für M zuerst eine Interpolationsformel gegeben, welche den wirksamen Magnetismus im

ganzen Verlaufe richtig darstellt, mit Ausnahme des Anfanges, der für praktische Zwecke nicht in Betracht kommt.

Wickelung I.

$$M = \frac{J}{26\,600 + 367J + 14{,}3J^2};$$

für $20 < J < 50$:

$$M = \frac{J}{8070 + 1440J},$$

$$M_{max} = 0{,}000\,694;$$

$$M' = \frac{J}{14\,400 + 1040J},$$

$$M'_{max} = 0{,}000\,962.$$

Wickelung II.

$$M = \frac{J}{5180 + 1310J},$$

$$M_{max} = 0{,}000\,763;$$

$$M' = \frac{J}{9100 + 1010J},$$

$$M'_{max} = 0{,}000\,990.$$

Wickelung III.

$$M = \frac{J}{3200 + 1380J},$$

$$M_{max} = 0{,}000\,725;$$

$$M' = \frac{J}{5100 + 930J},$$

$$M'_{max} = 0{,}001\,080.$$

Hieraus geht deutlich hervor, wie stark die Einwirkung des Stromes im Anker das Maximum herabdrückt, nämlich bei allen Wickelungen um etwa $^1/_4$ des Werthes. Die das Maximum bestimmenden Coëfficienten b bei den verschiedenen Wickelungen sind wenig verschieden; die Coëfficienten a dagegen, deren reciproke Werthe einen Ausdruck für die „Kraft der Wickelung" bilden, zeigen bedeutende Unterschiede.

Diese Resultate lassen sich auch benutzen, um die Einwirkung des Stromes im Anker auf den Magnetismus gesetzmässig festzustellen, wenigstens in erster Annäherung. Diese Einwirkung ist gleich der Differenz $M' - M$; dieselbe ist proportional der Anzahl n der Windungen auf dem Anker, nimmt mit zunehmender Stromstärke zu, dagegen mit zunehmendem Magnetismus M' ab. Wir setzen

$$M' - M = n\gamma \frac{J}{M'};$$

da nun für M' zu setzen ist:

$$M' = \frac{J}{a' + b'J},$$

so wird

$$M' - M = n\gamma\,(a' + b'J)$$

und

$$5. \qquad M = \frac{J}{a' + b'J} - n\gamma\,(a' + b'J).$$

Wir haben diese Formeln mit den oben gegebenen Interpolationsformeln und mit anderen Versuchen verglichen, in welchen die Schenkel einfach parallel geschaltet waren, also der Strom im Anker doppelt so stark war als in den Schenkeln, und fanden genügende Uebereinstimmung; der Werth von γ beträgt im vorliegenden Falle $^2/_3 \times 10^{-11}$.

Die beschriebenen Versuche geben auch die Mittel an die Hand, um den Einfluss der Schenkelwickelung auf den wirksamen Magnetismus zu untersuchen.

Von den beiden Coëfficienten unserer Interpolationsformel für M' ist der eine, b', unabhängig von der Schenkelwickelung, da $\frac{1}{b'}$ das Maximum des Magnetismus bedeutet, welches bei jeder Wickelung schliesslich eintreten muss; der andere dagegen, a', der reciproke Factor der anfänglichen Proportionalität zwischen Strom und Magnetismus, ist wesentlich abhängig von der Wickelung, sowohl von der Anzahl der Windungen als von ihrer Entfernung vom Eisenkern.

Aus den Versuchen mit den drei verschiedenen Wickelungen ergibt sich nun, dass a', dessen reciproken Werth $\frac{1}{a'}$ wir „die Kraft der Wickelung“ nennen möchten, nur abhängig ist von der Anzahl der Windungen, nicht von dem Durchmesser des Drahtes oder dem Abstande der Windungen vom Eisenkern; natürlich gilt dies vorläufig nur für die Eisenconstruction der *v. Hefner*'schen Maschine. Es zeigt sich nämlich, dass

$$a' = \frac{\alpha}{m^q},$$

wo m die Anzahl der Windungen auf den Schenkeln, α und q Coëfficienten.

Aus den Versuchen ergeben sich die Werthe:

$$\alpha = 126\,000, \qquad q = 0{,}729.$$

Hieraus erhalten wir als Schlussresultat für den wirksamen Magnetismus unserer Maschine:

$$6. \qquad M = \frac{J}{\frac{\alpha}{m^q} + b'J} - n\gamma\left(\frac{\alpha}{m^q} + b'J\right).$$

Diese Formel gestattet, für jede beliebige Wickelung der hier behandelten Maschine den wirksamen Magnetismus zum Voraus zu berechnen.

61. Die Arbeitskraft der dynamo-elektrischen Maschine. Nach dem *Joule*'schen Gesetz ist die von der Maschine in der Secunde verbrauchte Arbeit

$$A = cJ^2W = cJE,$$

wo $c = 0{,}00181$ nach *Kohlrausch* (Leitfaden der praktischen Physik, p. 199 und 215), wenn die Arbeitskraft in Pferdekräften, die elektromotorische Kraft in *Daniells*, die Widerstände in S. E., die Stromstärken in $\frac{\textit{Daniell}}{\text{S. E.}}$ ausgedrückt werden. Die Tabelle VII enthält eine Reihe von Versuchen, in welchen die Arbeitskraft mittelst eines Arbeitsmessers

von *v. Hefner-Alteneck* direct gemessen wurde. (Die Arbeit des Leerganges ist in Abrechnung gebracht.)

Tabelle VII. Wickelung I.

v Touren.	W Gesammt-Widerstand.	J Stromstärke.	E Elektromotorische Kraft.	Arbeitskraft (beob.).	$c. J. E.$	$c. J. E. + pE^2.$
129	—	14,5	13,6	0,21	0,357	0,34
141	—	20,5	18,2	0,62	0,675	0,64
167	—	29,4	24,9	1,27	1,32	1,25
180	—	32,5	28,7	1,60	1,69	1,59
200	—	37,7	34,8	2,27	2,37	2,25
250	—	46,4	42,1	3,57	3,54	3,34
298	—	53,7	47,7	4,74	4,64	4,39
350	—	59,9	53,3	6,09	5,78	5,46
393	—	65,6	62,3	7,36	7,40	7,01
401	—	66,8	62,4	7,65	7,54	7,14
450	—	72,8	69,2	9,26	9,12	8,64
489	—	74,4	71,8	10,42	9,67	9,17
168	1,35	17,3	22,4	0,63	0,70	0,74
216	—	23,5	31,1	1,33	1,32	1,40
247	—	27,9	36,9	1,89	1,86	1,97
302	—	36,5	49,3	3,21	3,26	3,44
351	—	42,8	58,1	4,37	4,50	4,76
401	—	48,0	66,3	5,53	5,76	6,11
449	—	52,3	73,4	6,82	6,95	7,37
508	—	57,2	82,3	8,39	8,52	9,35

Die beiden letzten Spalten enthalten die theoretisch berechneten Arbeitswerthe, und zwar die vorletzte die Berechnung nach dem *Joule*'schen Gesetz, die letzte mit Hinzufügung einer Correction, welche von den sogenannten *Foucault*'schen oder den im Eisenkern des Ankers inducirten Strömen herrührt. Berücksichtigt man nämlich diese Ströme, so erhält man

8. $$A = cJE + pE^2,$$

und die Versuche über Kraftübertragung zeigen, dass für den vorliegenden Fall p den Werth 0,0009 habe, und ferner,

ass es, um diese Versuche gut darzustellen, nöthig ist, den Verth von c von 0,00181 auf 0,00163 = c' herabzusetzen.

Wenngleich die in der vorletzten Spalte berechneten rbeitswerthe besser mit den beobachteten übereinstimmen ls diejenigen der letzten Spalte, so halten wir doch die etztere Berechnungsweise für richtiger, weil die viel zahleicheren und meistens sorgfältigeren Beobachtungen über Kraftübertragung für dieselbe sprechen."

Soweit die Ergebnisse *Frölich's*.

Bevor wir uns anderen praktischen Versuchen, welche ich auf die elektrischen Maschinen beziehen, zuwenden, ist s nöthig, die Natur und das Wesen des *Volta*'schen Lichtogens näher zu erörtern.

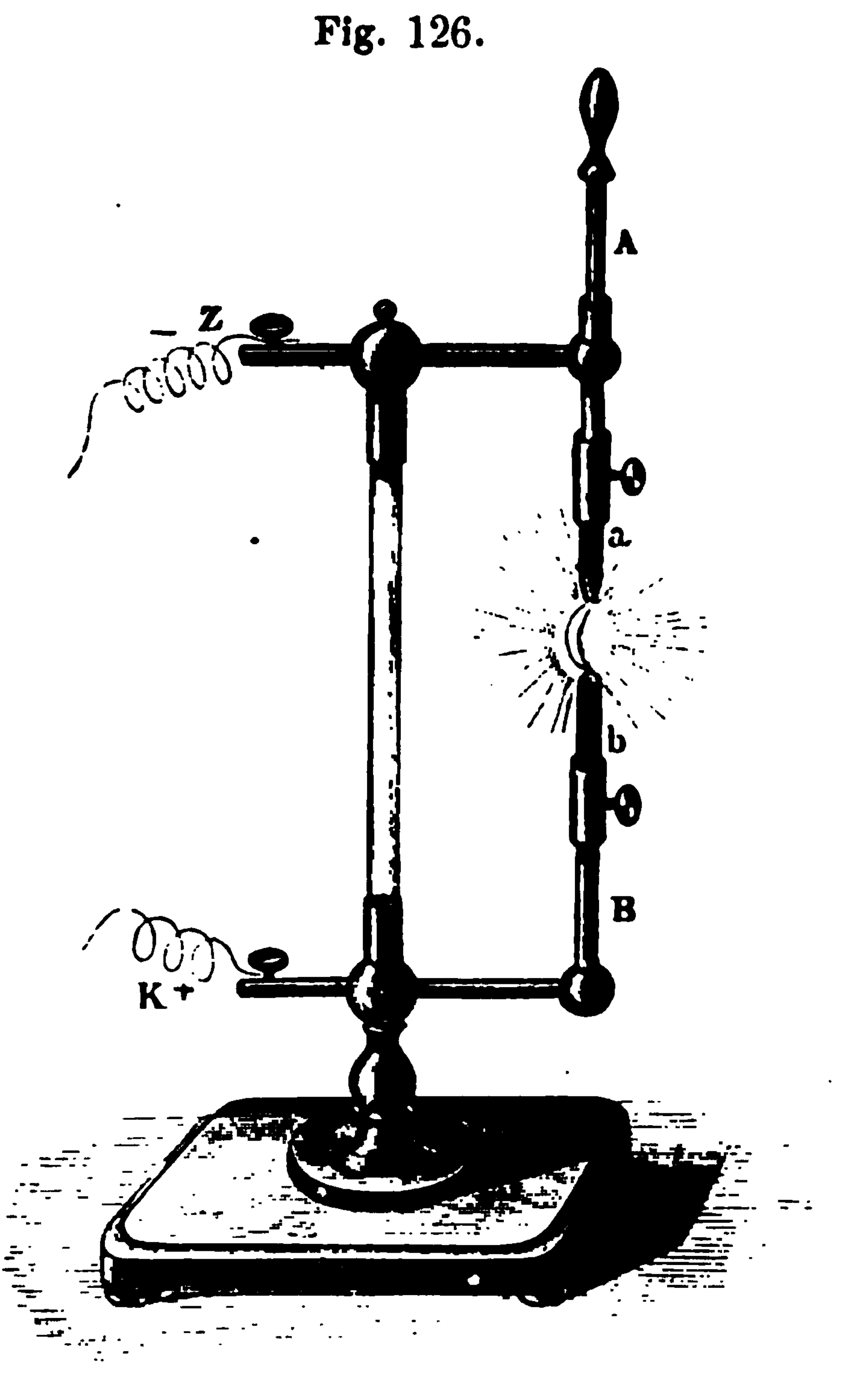
VII. Abtheilung.

Der Volta'sche Lichtbogen
und seine Lichtstärke; Beschaffenheit der Kohlenstäbe.

62. **Der Volta'sche Lichtbogen** entsteht, wie wir bereits p. 146 vorübergehend angeführt haben, wenn man die von den Polen einer starken galvanischen Batterie oder einer magnet- oder dynamo-elektrischen Maschine ausgehenden zwei Leitungsdrähte mit zugespitzten Kohlenstäbchen verbindet und letztere, nachdem man dem elektrischen Strome zuerst den Durchgang durch die geschlossene Leitung gestattet und dadurch die Kohlen zum Glühen gebracht hat, ein wenig von einander entfernt. Man nennt dabei diejenige Kohle b, Fig. 126, welche durch den Kohlenhalter B und die Leitung K mit dem $+$ Pole der Batterie in Verbindung steht, die positive, die andere a, welche durch A und Z mit dem $-$ Pole verbunden ist, die negative Kohle. Hat man vor dem Eintritte des Stromes durch Herabschieben der oberen Kohle a die beiden Kohlenspitzen mit einander in Berührung gebracht, so fangen dieselben an zu glühen, sobald der Strom durch die Leitung hindurchgeht, aber es bildet sich kein Flammenbogen, der das sogenannte elektrische Licht ausstrahlt. Entfernt man dann die beiden Kohlenspitzen auf einige Millimeter von einander, so zeigt sich zwischen ihnen eine flammenartige, eiförmige, leicht hin und her wogende Lichtgarbe von äusserst intensivem Glanze, der galvanische oder *Volta*'sche Flammenbogen, der

an Umfang und an Lichtfülle in dem Maasse bis zu einer gewissen Höhe zunimmt, als man die Kohlen weiter von einander entfernt, dann aber bei noch grösserer Entfernung der Kohlenspitzen rasch an Intensität abnimmt und plötzlich erlischt, wenn der Abstand der Kohlenstäbchen so gross geworden ist, dass die Elektricität die zwischen ihnen befindliche Schicht glühender Luft und glühender Kohlenpartikelchen nicht mehr überwinden kann.

Fig. 126.



Das elektrische Kohlenlicht.

Das blendende Licht, welches der Flammenbogen ausstrahlt, gestattet dem unbewaffneten Auge nicht den directen Anblick der Kohlenspitzen, u. Blendgläser lassen die Einzelheiten dessen, was zwischen ihnen vorgeht, nicht deutlich genug erkennen. Um daher diese Erscheinung ohne Gefahr für die Augen studiren zu können, empfiehlt es sich, von den glühenden Kohlen vermittelst einer mässig vergrössernden Linse ein vergrössertes Bild auf einem weissen Schirme darzustellen; man kann dann alle Einzelheiten des Flammenbogens und der Kohlen ohne Anstrengung des Auges sogar aus einiger Entfernung vom Schirme deutlich und leicht beobachten. Dass bei dieser Anordnung der Beobachtungsraum nahezu dunkel und die elektrische Lampe in einer

das Licht allseitig abschliessenden Laterne eingeschlossen sein muss, welche nur an der dem Schirme zugekehrten Seite mit einer kreisrunden Oeffnung versehen ist, versteht sich von selbst. Hat man auf diese Weise das Bild, Fig. 127, des Flammenbogens vor sich, wobei in Folge der mehr als hundertfachen Vergrösserung die zugespitzten Enden der Kohlenstäbchen in der Länge von 2m erscheinen, so ist es leicht, die Veränderungen, welche an ihnen vorgehen, zu beobachten.

63. Das Bild des Lichtbogens. Man sieht auf den ersten Blick, dass das intensivste Licht nicht von dem zwischen den Kohlenspitzen hin- und herzitternden Flammenbogen, sondern von den weissglühenden Kohlen ausgestrahlt wird, dass die positive Kohle sehr bald ihre Spitze verliert und sich zu einer kraterförmigen Höhlung nach Art eines umgekehrten Hutpilzes abstumpft und dass sehr intensiv leuchtende Partikelchen von derselben zur negativen Kohle überfliegen. Dadurch nimmt die negative Kohle etwas zu und wird durch die Ansammlung von Kohlenpartikelchen, die von der positiven Kohle herkommen, mit einem rundlichen hutförmigen Schildchen bedeckt. Indessen zeigen sowohl das Bild des Flammenbogens auf dem Schirme als auch directe Versuche durch Abwägen der Kohlenstäbchen, dass auch von der negativen Kohle glühende Partikelchen mit Heftigkeit zu der positiven übergeführt, ja, dass von beiden Kohlen nach allen Richtungen hin kleine glühende Theilchen in den Raum geschleudert werden.[1]) Wenn die Kohlen nicht besonders präparirt und nicht sehr rein sind,

[1]) Ein Ueberführen von weissglühenden Partikelchen von einer Elektrode zur anderen zeigen auch die Metalle, wenn man diese statt der Kohle zur Erzeugung eines Flammenbogens anwendet. Nicht bloss nimmt dann der Bogen die Farbe der glühenden Metalltheilchen an, sondern die Spektral-Analyse weist auch ihr Vorhandensein in allen Theilen des Lichtbogens unzweifelhaft nach.

sieht man, wie kleine Kügelchen auf der Oberfläche der
ohlenstäbchen kochend hin- und herlaufen; es sind das
igelchen von schmelzender Kieselerde, welche selbst in den

Fig 127.



Der Volta'sche Flammen- oder Lichtbogen.

ereinigten Kohlenstäbchen selten ganz fehlen, durch ihre
ichte Beweglichkeit dem Lichtbogen eine Art flackernder
ewegung geben und, da sie nicht glühen, der Intensität
es Lichtes Abbruch thun. Gerathen diese Theilchen bei

ihrer unruhigen Bewegung auf den heissesten Theil der Kohlenstäbchen, wo mit der Weissgluth zugleich das stärkste Licht entwickelt wird, so gibt sich ihre lebhafte Bewegung durch ein Zischen und durch eine plötzliche Abnahme des Lichtes zu erkennen.

In der Hitze des Flammenbogens verbrennen die Kohlenstäbchen in der freien Luft ziemlich schnell und der Abstand ihrer Spitzen wird immer grösser, bis schliesslich der Lichtbogen verschwindet.

64. Die Temperatur des Lichtbogens und der Kohlen. Erzeugt man den *Volta*'schen Flammenbogen zwischen zwei Kohlenstäbchen, so nutzt sich die positive Kohle in gleicher Zeit ungefähr doppelt so stark ab als die negative, was ohne Zweifel darin seinen Grund hat, dass die Temperatur der positiven Kohle bedeutend höher ist als die der negativen. Letzteres zeigt sich schon daran, dass im Flammenbogen die negative Kohle nur noch in einer kleinen Entfernung von dem Lichtbogen dunkelroth glühend erscheint, wogegen die positive Kohle sogar in beträchtlicher Entfernung vom Bogen noch hellroth glüht.

E. Becquerel[1]) hatte die Temperatur des durch 80 *Bunsen*'sche Elemente erzeugten Lichtbogens zwischen 2070 und 2100° *C.* gefunden, indem er annahm, dass die Helligkeit desselben proportional mit der Wärmestrahlung entsprechend dem Gesetz von *Dulong-Petit* wachse; eine bei hohen Temperaturen nicht ganz richtige Annahme. ***Rosetti*** stellte daher neue Versuche an, warf die von einer bestimmten Oberfläche der Elektroden kommenden Wärmestrahlen direct auf eine mit einem astatischen Spiegel-Galvanometer verbundene Thermosäule und bestimmte so die Temperatur derselben.[2]) Aus einer Reihe von Versuchen mit bis zu 160 *Bunsen*'schen Elementen ergab sich an der Lampe von

[1]) Annalen der Chemie und Physik. LVIII, p. 149, 1880.

[2]) Siehe *Wiedemann's* Annalen; Beiblätter 3, p. 822.

Duboscq: Die Temperatur der positiven Kohle liegt zwischen 2400 und 3900°; sie ist um so höher, je kleiner die strahlende Fläche ist, vorausgesetzt, dass diese Fläche die extreme Spitze enthält; die Temperatur der negativen Elektrode schwankt zwischen 2138 und 2530°. Demnach dürften die Temperaturen der äussersten Spitzen der beiden Elektroden in der Praxis nicht unter 2500° und 3900° liegen.

Bei wachsenden Zahlen n der zur Säule verbundenen Elemente, resp. der Strom-Intensitäten i wächst die Temperatur des gesammten Bogens wie folgt:

n =	50	60	70	80
i =	26	71	39,2	57
t =	2190	2334	2536	2784° *C.*[1]

Diese Angaben beziehen sich auf den Fall, dass die Elektroden gleichen Durchmesser haben; durch Vergrösserung der einen oder anderen Elektrode des Lichtbogens nimmt aber die Temperatur-Erhöhung der einen ab, die der anderen zu; namentlich wenn die negative Elektrode gross ist, wird die Temperatur an der positiven sehr gross.

65. Die Länge des Lichtbogens. Die Intensität des von dem Flammenbogen ausgestrahlten Lichtes hängt bei denselben Kohlenstäbchen von der Stärke des Stromes und von der Grösse des Lichtbogens ab, letztere aber ist wesentlich von der Spannung des elektrischen Stromes und von der Quantität der in Bewegung gesetzten Elektricität bedingt; ausserdem hängt diese Lichtstärke noch von dem Medium ab, in welchem sich der Lichtbogen bildet.

Davy, der im Jahre 1813 zuerst das elektrische Kohlenlicht darstellte, wandte dazu eine Batterie von 2000 Zink-Kupfer-Elementen von je 200 qcm Fläche an und erhielt einen Lichtbogen von 11 cm in der freien Luft und von 18 cm im luftleeren Raume. Nach den Versuchen von *Deprez* ist der Lichtbogen einer Batterie von 100 *Bunsen*'schen Ele-

[1] Vgl. *F. E. Gatehouse.* Nature XIX, p. 37.

menten fast viermal so lang als der von 50 Elementen; der Lichtbogen von 200 Elementen ist jedoch noch nicht dreimal so lang als der von 100 Elementen, 600 Elemente geben dagegen einen fast 7½ mal so langen Bogen wie 100 Elemente. Bei 600 Elementen betrug die Länge des Lichtbogens 20cm, wenn sie hintereinander (auf Spannung) verbunden waren und die positive Kohle sich oben befand. Es wächst hiernach die Länge des Bogens rascher als die Zahl der Batterie-Elemente, jedoch ist dieser Zuwachs für die kleinen Lichtbogen stärker als für die grossen. Verbindet man die Elemente nebeneinander (auf Quantität), so wächst der Lichtbogen langsamer als die Zahl der Elemente; bei 100 nebeneinander verbundenen Elementen war der Bogen 25mm lang, dagegen bei 600 Elementen nur 69mm, wenn dieselben in 6 Reihen zu je 100 verbunden waren, und 183mm, wenn sie sämmtlich in einer Reihe hintereinander auf Spannung gekuppelt wurden. Befindet sich die positive Kohle unten, so ist der Bogen nicht so lang, als wenn sie oberhalb der negativen Kohle steht. Mit 6 Reihen von je 100 Elementen, die auf Quantität gekuppelt sind, erhält man einen Lichtbogen von 74mm, wenn die positive Kohle oben ist, dagegen nur von 56mm, wenn sie unten ist. Gibt man den Kohlenstäbchen eine horizontale Lage, so ist der Lichtbogen kürzer, als bei vertical gestellten Kohlen, und es ist in diesem Falle am vortheilhaftesten, die Elemente auf Quantität zu verbinden. So gaben 6 nebeneinander verbundene Reihen von je 100 Elementen einen horizontalen Bogen von 40mm Länge, während 600 hintereinander verbundene Elemente einen horizontalen Bogen von nur 27mm lieferten.

66. Widerstand und elektromotorische Kraft des Lichtbogens. Es ergibt sich aus den Versuchen von *Deprez*, dass diejenigen, welche sich in früherer Zeit behufs der Erzeugung des elektrischen Lichtes mit der Construction von

grossen magnet-elektrischen Maschinen befassten, im Irrthume sich befanden und daher nicht zum Ziele gelangen konnten, so lange sie bloss darauf bedacht waren, eine reiche Fülle von Elektricität zu produciren und Ströme von grosser Quantität, aber von geringer Spannung zu erzeugen. Der Lichtbogen bildet nämlich einen Theil des die Pole der Batterie oder der elektrischen Maschine verbindenden Schliessungsdrahtes, und er setzt, da er das metallische Continuum der Leitung unterbricht und nur aus Gasen und glühenden, von einander getrennten Kohlenpartikelchen besteht, dem Durchgange der Elektricität einen sehr grossen Widerstand entgegen, zu diesem Leitungswiderstande gesellt sich noch ein activer Widerstand, welcher mit der Polarisation eines *Volta*meters verglichen werden kann, wonach das elektrische Licht eine elektromotorische Gegenkraft entwickelt. Auf diese machte zuerst *Edlund*[1]) aufmerksam; derselbe mass nämlich den Gesammtwiderstand des Bogens bei verschiedenen Längen desselben und fand, dass der Widerstand des Lichtbogens sich mit zunehmender Länge vergrösserte, dass derselbe aber nicht einfach der Länge des Bogens proportional war, sondern sich durch eine Gleichung von der Form

$$w = a + b \,.\, l$$

darstellen liess, worin a und b zwei Constanten und l die Länge des Lichtbogens bedeuten. So ergab sich bei einem Versuche, als die Längen des Lichtbogens waren:

5	Scalentheile	= 2,0 mm,	der Widerstand zu	7,8,
4	"	= 1,6 "	" " "	7,6,
3	"	= 1,2 "	" " "	7,3,
2	"	= 0,8 "	" " "	7,1,
1	"	= 0,4 "	" " "	6,9,

somit $$w = 6{,}74 + 0{,}2 \,.\, l,$$

wenn die Länge in Scalentheilen ausgedrückt ist.

---

[1]) *Poggendorf's* Annalen, Bd. LXXXIII, CXXXIII.

Nahe lag die Annahme, dass die Grösse $b\,l$ den eigentlichen Leitungswiderstand repräsentirt, da sie der Länge des Bogens proportional ist, hingegen abnimmt, sobald die Stromstärke und mit dieser die Temperatur der Elektroden bezw. die Masse der abgerissenen Kohlenpartikelchen zwischen den Elektroden zunimmt — kurz, da sie dem *Ohm*'schen Gesetze bezüglich des Leitungswiderstandes eines Leiters folgt.

Die von der Länge des Bogens unabhängige Grösse a aber kann einen doppelten Grund haben; es kann nämlich bei Herstellung des Lichtbogens entweder ein Uebergangswiderstand bei dem Uebergange der Elektricität aus den festen Theilen des Leiters in die Luft vorhanden sein, oder es kann im Bogen selbst eine elektromotorische Kraft auftreten, welche einen dem ursprünglichen entgegengesetzten Strom zu erzeugen strebt und dadurch den Strom schwächt.

Zu der letzteren Annahme führten *Edlund* jedoch theoretische Gründe. Er geht nämlich davon aus, dass der Lichtbogen durch eine Zerstäubung der Polspitzen zu Stande kommt, und bemerkt, dass die Zerstäubung eine mechanische Arbeit erfordere. Mit dieser Arbeitsleistung muss aber die in dem ganzen Stromkreise entwickelte Wärmemenge kleiner werden, und das ist nur dann möglich, wenn unabhängig von dem im Lichtbogen neu auftretenden Widerstande eine Schwächung des Stromes eintritt. Denn würde der Strom nur nach Maassgabe des eingeschalteten Widerstandes geschwächt, so würde bei der Ueberwindung des Widerstandes eine demselben proportionale Wärmemenge entwickelt, die gesammte Wärmemenge wäre also nicht kleiner. Desshalb schliesst *Edlund*, dass die von der Länge des Lichtbogens unabhängige Schwächung des Stromes in dem Auftreten einer elektromotorischen Gegenkraft ihren Grund habe, welche den Strom der mechanischen Arbeit entsprechend

schwäche und damit die entwickelte Wärmemenge absolut kleiner werden lasse.

Den Werth der elektromotorischen Gegenkraft findet dann *Edlund*, sobald die Stromstärke eine gewisse Grenze hat, unabhängig von der Stromstärke und der elektromotorischen Kraft des zur Erzeugung des Lichtbogens verwandten Stromes, dagegen abhängig von der Natur der Spitzen, zwischen denen der Lichtbogen entsteht; sie ist kleiner, wenn der Lichtbogen zwischen Kupfer, als wenn er zwischen harter Kohle erscheint.

Es zeigte nun bereits im Jahre 1852 *Wartmann*, dass, wenn man während eines merklichen Bruchtheils einer Secunde, sogar $^1/_{10}$, den Durchgang des Stromes unterbricht und ihn dann wiederherstellt, der Bogen von Neuem entstehen kann, ohne dass man nöthig hat, die Pole bis zur Berührung einander zu nähern. Diese Thatsache erklärt sich sehr leicht, wenn man bedenkt, dass der Kohlendampf, welcher der Hauptsache nach den Bogen bildet, noch einige Zeit nach dem Aufhören des Stromes bestehen kann, und dass auch die warmen Gase, welche die Kohle umgeben, Leiter sind.

Resultirt daher vom Durchgang des Stromes zwischen den beiden Kohlen eine elektromotorische Gegenkraft, so muss dieselbe auch noch einige Zeit, nachdem der Strom aufgehört hat, bestehen und so lange, als zwischen den noch warmen Kohlen ein leitendes Medium existirt, im Galvanometer nachgewiesen werden können.

Diese Thatsache benutzte *Edlund*, das Vorhandensein der elektromotorischen Kraft in dem Lichtbogen direct nachzuweisen. Der Lichtbogen wurde zu dem Zwecke in eine Zweigleitung eingeschaltet, welche ein Galvanometer enthielt und welche durch eine hebelartige Vorrichtung in dem Momente geschlossen werden konnte, in welchem eben durch das Umschlagen dieses Hebels der den Lichtbogen

erzeugende Strom unterbrochen wurde. Kräftige Aufschläge in dem Galvanometer bewiesen thatsächlich, dass die Zweigleitung von einem Strome durchflossen wurde, welcher nach *Leroux* sogar noch nach $^2/_{10}$ Secunden nachweisbar ist. Hiernach unterliegt es keinem Zweifel, dass der Lichtbogen eine elektromotorische Gegenkraft entwickelt.

Edlund fand dieselbe in einem Falle, wo er mit einer Batterie von 26 *Bunsen*'schen Elementen experimentirte, gleich 9,7 *Bunsen;* bei Anwendung einer stärkeren Batterie fand er sie zu 15 *Bunsen.*

Aus dem Vorhergehenden ergibt sich, dass wohl unterschieden werden muss, ob der gesammte Widerstand oder aber nur der Leitungswiderstand bzw. die elektromotorische Kraft des Lichtbogens gemeint sind. Die Grössen, welche sich auf die letzteren beziehen, sind insofern von grosser Wichtigkeit, als auf ihnen die rationelle Anfertigung der dynamo-elektrischen Maschinen,[1]) bezw. die Wickelung des Inductors beruht.

Leider sind die Grössen einstweilen fast unbekannt; erst jüngst sind dieselben für einen Fall von *M. Burstyn* nach folgender Methode festgesetzt worden.

Eine *Gramme*'sche Maschine (Type *C*), deren Constanten zuvor sorgfältig ermittelt worden sind, wurde mit einer Lampe zu einem Stromkreise geschlossen.

Es wurde zunächst bei einem Kabelwiderstande r und eingeschalteter Lampe die Stromstärke (S) gemessen; hierauf wurde ein grösserer Kabelwiderstand r_1 nebst Lampe in den Stromkreis geschaltet und bei sorgfältig eingehaltener Kohlendistanz und genau gleicher Tourenzahl des Inductors abermals die Stromstärke (S_1) gemessen. Die Stromstärkemessungen wurden jedesmal wiederholt durchgeführt und das Mittel aus den Ergebnissen genommen. Zu den Strom-

[1]) Vgl. Seite 154 und Abth. 17.

ärke-Messungen diente eine *Obach*'sche Tangenten-Bussole.
s wurde darauf geachtet, dass das Licht während der
essungen ruhig und geräuschlos brannte.

Ist der Widerstand der Maschine ϱ und jener der
ampe x, und setzt man

$$r + \varrho = w,$$
$$r_1 + \varrho = w_1,$$

› gelten folgende Gleichungen, wenn P die elektromotorische
raft der Polarisation im Lichtbogen und E die elektro-
ıotorische Kraft der Maschine bei der betreffenden Touren-
ıhl bedeutet:

$$S = \frac{E - P}{w + x} \text{ und } S_1 = \frac{E - P}{w_1 + x},$$

oraus

$$x = \frac{S_1 w_1 - S w}{S - S_1}$$

ls Lampenwiderstand und

$$P = \frac{E(S - S_1) + S\,S_1(w - w_1)}{S - S_1}$$

ls elektromotorische Kraft der Polarisation folgt.

Es war nun:

$$\varrho = 0{,}855 \text{ S. E.}$$
$$r = 0{,}195 \text{ „}$$
$$r_1 = 0{,}775 \text{ „}$$

oraus $\quad w = 1{,}050$ „

nd $\quad w_1 = 1{,}630$ „

Der Inductor machte in beiden Fällen 750 Touren, und
urde die elektromotorische Kraft der Maschine bei dieser
'ourenzahl zuvor mit $E = 1214{,}5$ *Jacobi* × *Siemens*[1])
efunden.

Die Stromstärke-Messungen ergaben nun:

$$S = 564{,}1 \textit{ Jac.},$$
$$S_1 = 415{,}3 \text{ „}$$

Daraus berechnet sich $x = 0{,}57$ S. E. und $P = 302$ *Jac.-S.*

[1]) *Jacobi* × *Siemens* = 0,00974 *Webers* × 0,9537 *Ohms* = 0,0093 *Volts*.

Bei einem zweiten Versuche mit derselben Maschine waren r und r_1 wie früher. Die Tourenzahl wurde auf 780 erhöht und die elektromotorische Kraft der Maschine bei dieser Tourenzahl mit $E = 1280$ *Jac.-S.* gemessen. Bei diesem Versuche wurde gefunden:

$$S = 576{,}5 \text{ Jac.},$$
$$S_1 = 425{,}0 \quad ,,$$

woraus sich $x = 0{,}578$ S. E. und $P = 342$ *Jac.-S.* berechnet.

Als Mittel aus beiden Versuchen folgt:

$x = 0{,}574$ S. E. als Widerstand im Lichtbogen und
$P = 322$ *Jac.-S.* als elektromotorische Kraft im Lichtbogen.

Weitere solcher Messungen sind uns unbekannt; wie schon angedeutet, ist es sehr wünschenswerth, dass dieselben in grösserer Anzahl angestellt werden, damit ein klarer Einblick in diejenigen Gesetze gewonnen wird, welchen die elektromotorische Kraft sowie der Leitungswiderstand des Lichtbogens unterliegen.

In grösserer Anzahl liegen Messungen vor, welche den Gesammtwiderstand des Lichtbogens ausdrücken, wonach in demselben Ausdrucke der Leitungswiderstand des Bogens und die der Stromquelle entgegengesetzt wirkende, durch einen gleichwerthigen Widerstand ersetzte elektromotorische Kraft vereinigt werden; dieselben gehen aus der Tabelle auf p. 291 hervor. Aus dieser Tabelle ergibt sich, dass der Gesammtwiderstand des Bogens mit den Widerständen in der Leitung zuzunehmen, bezw. mit wachsender Intensität abzunehmen scheint.

In naher Beziehung zu diesen Resultaten steht auch die Erscheinung, dass, wie u. A. jüngst noch *Siemens* zeigte,[1])

[1]) Monatsschrift der Berliner Akademie 1880, p. 1. Vgl. auch *Wiedemann's* Annalen 1880, Bd. 11, p. 1041; Bd. 12, p. 65; Bd. 13, p. 307.

die Leitungsfähigkeit der Kohlenstäbe mit steigender Temperatur zunimmt; die mittlere Widerstandsabnahme beträgt für 1°. 0,000331. Die bessere Leitungsfähigkeit der Kohle bei höherer Temperatur erklärt *Siemens* durch die Annahme, dass die Kohle, wie krystallinisches Selen, eine latente Wärme enthaltende allotrope Modification eines hypothetischen metallischen Kohlenstoffes ist. Wird danach der Kohlenstoff durch den elektrischen Strom in metallischer Form fortgeführt, so wird die latente Wärme der Kohle an der Trennungsfläche frei, letztere also vorzugsweise erhitzt. Das Losreissen der Kohlenpartikelchen ist es demnach, was das Licht wesentlich erzeugt. Da nun bei Weitem mehr glühende Partikelchen von der positiven zur negativen, als von der negativen zur positiven Elektrode übergeführt werden, so muss auch die positive Elektrode eine höhere Temperatur als die negative haben (vgl. p. 283) und dementsprechend am hellsten leuchten.

Zur Ueberwindung des von den Kohlen bezw. dem

Namen der Physiker.	Elektromotorische Kraft der *E.*-Quelle in *Volts.*	Elektricitäts-Quelle.	Widerstand derselben in *Ohms.*	Widerstand des Bogens in *Ohms.*	Intensität des Stromes in *Webers.*
W. Thomson..	79	79 *Daniell-Thomson*'sche Elemente.	7,9	5	—
Thomson und *Houston*...	79	Dynamoelektrische Maschine.	—	2,77	10
				1,25	16,5
				1,67	21,5
				0,54	30,12
Ayrton und *Perry*....	108	*Grove.* 69	12	12	—
	144	80	16	20	—
	219	122	24,4	30	—
Schwendler...	—	—	—	1,97	16,27
				1,72	23,87
				0,91	28,81

Lichtbogen geleisteten Widerstandes ist nun eine gewisse 67. Spannung des Stromes erforderlich. Hiermit soll nicht gesagt sein, dass zur Erzeugung eines intensiven Lichtbogens eine geringe Quantität der Elektricität hinreiche; es ist im Gegentheil eine sehr bedeutende Fülle von Elektricität dazu erforderlich, um die Kohlenstäbchen bis zu dem Grade weissglühend zu machen, dass ihre Partikelchen nur noch lose zusammenhangen und leicht von einer Kohle zur anderen übergeführt werden können. Man könnte sagen, dass die Quantität der in Bewegung zu setzenden Elektricität sehr gross sein müsse, um die Kohlen in Weissgluth zu versetzen und einen Lichtbogen von einiger Länge zu erzeugen, dass aber andererseits auch die Spannung des Stromes gross sein müsse, um den von dem Bogen gebildeten erheblichen Widerstand überwinden zu können.

Die grosse Menge Elektricität wird in den Batterien durch den Verbrauch an Zink und durch die chemische Energie erzeugt, mit welcher die Bestandtheile der Elemente auf einander einwirken; sie wächst daher auch mit der Vergrösserung der Elemente, während die Spannung mit der Anzahl der letzteren zunimmt. In den elektrischen Maschinen sind es die magnetischen, auf die rotirenden Drähte inducirend wirkenden Kräfte, sowie die Grösse der zur Rotation der Inductoren aufgewandten mechanischen Arbeit, welche die in Bewegung zu versetzende Elektricität in die Leitung schaffen, wobei ein beständiges Umsetzen von Massenarbeit in diejenige uns noch nicht bekannte Form von Molekular-Arbeit vor sich geht, welche wir Magnetismus und Elektricität nennen. Dass die Dicke und die Länge der für die Inductorrollen anzuwendenden Kupferdrähte dabei eine grosse Rolle spielen, lehrt die Erfahrung, und es lässt sich im Allgemeinen sagen, dass der Quantität der Elektricität kurze Drähte von grossem Querschnitte entsprechen, um der durch den Aufwand der mechanischen Arbeit

erzeugten Elektricitätsmenge einen leichten Durchgang zu gestatten, wogegen lange und dünne Drähte diesen Durchgang hemmen und dadurch eine Art von Aufstauen und von Spannung hervorbringen.

Es unterliegt auch wohl keinem Zweifel, dass die Summe der molekularen Bewegungen, welche sich im Bogen in den Formen der Wärme und des Lichtes zu erkennen geben, sowie der Massenbewegung der von den Kohlen nach allen Richtungen weggeschleuderten Kohlenpartikelchen äquivalent ist der Summe aller zur Erzeugung des Stromes aufgewendeten molekularen und Massenarbeit; es ist jedoch zur Zeit noch nicht möglich, alle Einzelheiten, welche bei der verschiedenen Erzeugungsweise des galvanischen Stromes mitwirken, in Bezug auf die Umsetzung der Bewegungsformen nach Aequivalenten zu beurtheilen.

In dieser Beziehung bemerkt *Le Roux* mit Recht, dass es sich bei der Beurtheilung der zur Erzeugung des elektrischen Lichtes mitwirkenden Factoren zur Zeit nicht darum handle, zu untersuchen, ob in den Lichtmaschinen die zum Betriebe derselben erforderliche Kohlenmenge unter dem Kessel der Dampfmaschine auf das Vortheilhafteste ausgenutzt werde, sondern darum, ob es möglich ist, durch irgend ein anderes Mittel eine ebenso grosse Menge von Wärme und Licht in einem so kleinen Raume zu concentriren, und von diesem Gesichtspuncte aus lässt der *Volta*'sche Flammenbogen alle anderen Methoden der Erzeugung starker Lichtquellen weit hinter sich.

Eine gute Dampfmaschine leistet eine Arbeit von einer Pferdekraft bei einem Kohlenverbrauche von 1 kg per Stunde, und mit diesem Kraftaufwande gibt eine *Gramme*'sche Maschine eine Lichtstärke von 800 Kerzen. Verwendet man dagegen das 1 kg Kohle zur Gaserzeugung, so erhält man etwa 0,28 cbm Leuchtgas, dessen Verbrennung in einer Stunde nur eine Lichtstärke von 25 Kerzen erzeugt.

Nimmt man an, dass bei der Gasbereitung 50 % der aufgewandten Kohle als Coaks zurückbleiben, so beträgt der Verbrauch an Kohle bei der Gasbereitung, um eine Lichtstärke von 800 Kerzen zu erzielen, 16 kg, während bei der *Gramme*'schen Maschine dieses Licht durch den Aufwand von 1 kg erzeugt wird.

68. Licht-Einheiten. Wir haben bei der Beschreibung der Lichtmaschinen ihre Leistungen meist dadurch angegeben, dass wir sagten, die von ihnen erzeugten Lichtstärken seien gleich einer gewissen Anzahl von Carcel-Brennern oder von Paraffinkerzen. Bei allen Lichtquellen ist jedoch wohl zu unterscheiden zwischen der Stärke oder der Quantität des ausgestrahlten Lichtes und dem Glanze desselben. Man sagt, dass zwei verschiedene Lichtquellen, z. B. eine Gas- und eine Petroleumflamme, gleiche Lichtstärke haben oder gleich viel Licht aussenden, wenn sie eine und dieselbe Fläche in gleichen Abständen gleich stark beleuchten. Da nun die Helligkeit einer von einem leuchtenden Puncte beleuchteten Fläche mit dem Quadrate der Entfernung von diesem Puncte abnimmt, so muss die Lichtmenge, welche derselbe ausstrahlt, 4-, 9-, 16-...mal so gross sein, wenn die erleuchtete Fläche in der 2-, 3-, 4-....fachen Entfernung dieselbe Helligkeit erhalten soll, welche sie in der Entfernung 1 von dem Puncte bekommt. Allgemein kann man daher sagen, dass die Lichtstärken oder die Lichtmengen zweier verschiedener Lichtquellen, welche einer und derselben Fläche gleiche Helligkeit geben, sich verhalten wie die Quadrate ihrer Abstände von dieser Fläche. Es beruhen hierauf die verschiedenen Einrichtungen (Photometer), um zwei Lichtquellen mit einander zu vergleichen.

Ueber das Maass oder die Einheit der Lichtmenge, welche bei diesen Vergleichungen (dem Messen des Lichtes oder dem Photometriren) zu Grunde zu legen ist, sind sich die Techniker heute noch immer nicht einig. In Frankreich

dient als Einheit der Lichtstärke das Licht einer Carcel-(Moderateur-)Lampe grössten Formats von 30mm Dochtweite, welche in einer Stunde 42g gereinigten Colzaöls (Kohlsaat- oder Rüböls) verbrennt; man nennt diese Lichtmenge einfach Bec Carcel. Auch gebraucht man das Licht einer Gasflamme, welche 140*l* Gas in der Stunde verzehrt, als Maass-Einheit. Diese steht zu der vorigen in dem Verhältnisse, dass 1 Bec de gaz = 1,1 Bec Carcel ist.

In England wendet man als Licht-Einheit die sogenannte Parlamentskerze (*London Standard Spermaceti Candle*) an, die bei einer Flammenhöhe von 45mm stündlich 120 Grains (7,77g) Spermaceti (Walrath) verbrennt.

In Deutschland hat der Verein der deutschen Gas- und Wasserfachmänner als Einheit der Lichtstärke eine Paraffinkerze von 20mm Durchmesser und von genau vorgeschriebener Zusammensetzung des Dochtes empfohlen; der Docht ist aus 24 baumwollenen Fäden geflochten und wiegt in trockenem Zustande 0,668g per Meter-Länge. Sechs solche Kerzen wiegen 500g und sie sollen eine Flammenhöhe von 50mm geben. Da jedoch bei uns die meisten Städte in ihren mit den Gasgesellschaften abgeschlossenen Verträgen bereits andere Bestimmungen für das Photometriren getroffen haben, so wird die letztere Vorschrift selten befolgt, wozu auch noch der Umstand kommt, dass diese Normal-Paraffinkerzen nur auf besondere Bestellung angefertigt werden und bei 50mm Flammenhöhe sehr ungleichmässig brennen.

Die Flamme der Münchener Stearinkerze verzehrt normal 10,2 bis 10,6g Stearin pro Stunde; die Kerze soll aus einem Stearin von 76 bis 76,6 % Kohlenstoff angefertigt sein. Als normale Höhe ergab sich im Durchschnitt für 10,4g Materialconsum pro Stunde 52mm.

Vergleichende Messungen haben folgende Verhältnisszahlen ergeben:

Bec Carcel.	Standard Sp. Candle.	Deutsche Vereinskerze.	Münchener Kerze.
1	7,435	7,607	6,743
0,134	1	1,023	0,907
0,132	0,977	1	0,887
0,148	1,102	1,128	1

Wenn diese Angaben von anderen weniger verbürgten abweichen, so mag dieses hauptsächlich seinen Grund darin haben, dass die verschiedenen Maass-Einheiten in sich selbst nicht vollständig constant sind. „Eine Kerze" — sagt *Louis Schwendler* in einer hübschen Abhandlung über eine neue Maass-Einheit für Lichtmessungen[1] —, „aus welchem Material sie bestehen und welches auch ihre Grösse sein mag, wird immer von der Beschaffenheit eines zusammengesetzten Körpers abhängig sein, dessen genaue Reproduction stets mit grossen Schwierigkeiten verbunden ist. Genau die gleichen Uebelstände machen sich auch beim Carcel-Brenner geltend. Ferner hängt die Lichtmenge, welche diese Maass-Einheiten erzeugen, in sehr hohem Grade von äusseren Einflüssen ab, die nicht so leicht eine Controle oder Messung zulassen und die desshalb Veränderungen in dem Lichte der Maass-Einheit bewirken, für welche eine Correction nicht eingeführt werden kann. Z. B. hängt das Maass und die Regelmässigkeit, womit eine Kerze verbrennt, und die Lichtmenge, die sie aussendet, ausser von dem Material, aus welchem die Kerze besteht, von dem raschen und regelmässigen Zutritt von Sauerstoff ab. Ist in einem geschlossenen Raume, wie das Gehäuse eines Photometers, der Luftzug nicht gut regulirt und der Zufluss von frischer Luft nicht ganz constant, so kann leicht beobachtet werden, dass dieselbe Kerze zu verschiedenen Zeiten Lichtmengen aussendet, die um 50%

[1]) E. Z. 1880, p. 144. Z. f. a. E. 1880, p. 15. Untersuchungen über das Platin-Normallicht.

von einander verschieden sind. Eine andere Schwierigkeit wird erzeugt durch die Veränderung in der Länge des Dochtes und der Kerze selbst, wodurch das Licht der Maass-Einheit im Photometer nothwendig seine Lage und folglich auch seine quantitative Einwirkung auf einen gegebenen Punct verändert.“

Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, ersann *Schwendler* eine neue Maass-Einheit, die er darstellte durch die Wärmewirkung eines constanten Stromes, der Platin von gegebener Masse und bestimmten Dimensionen durchfliesst. Da uns eine Verwendung der neuen Einheit für technische Zwecke nicht bekannt wurde, so verzichten wir einstweilen auf die detaillirte Beschreibung derselben und der Methode ihres Gebrauches.

69. Photometrische Messungen. Die Angaben über die in Carcel-Brennern oder in anderen Licht-Einheiten ausgedrückten Lichtstärken des elektrischen Bogens sind natürlich sehr verschieden, weil sie durch die sehr verschiedenen Stärken des elektrischen Stromes bedingt sind. *Tresca* fand die Lichtstärke einer grossen *Gramme*'schen Maschine bei 1000 Touren in der Minute unter Anwendung einer *Serrin*'schen Lampe (§. 74) gleich 1860 Carcel-Brennern oder 14 136 Paraffinkerzen. „Von einer solchen Lichtmenge“, sagt *Jamin*, „kann man sich einigermaassen eine Vorstellung machen, wenn man bedenkt, dass man, um ein gleiches Licht zu erzeugen, 78 kg oder nahezu 100 *l* Oel, oder auch eine Quantität Leuchtgas in der Stunde verbrennen muss, welche einen Ballon von 9 m Durchmesser ausfüllt.“

Die grossen Lichtmaschinen der neuesten Zeit gehen noch sehr viel weiter; *Siemens-Halske's* grosse Maschine lieferte bei monatelangen Probebeleuchtungen an der englischen Küste bei verdichtetem Strahle eine Lichtstärke von 14 818 Normalkerzen, und nach *Fontaine* hat *Gramme* eine Lichtmaschine von 5000 Becs Carcel oder 38 000 Normalkerzen

gebaut. Lichtstärken von so enormer Grösse zu erzeugen, hat nur in ganz besonderen Fällen eine praktische Bedeutung; gegenwärtig geht man durch Theilung des elektrischen Stromes in der Lichtstärke bedeutend herunter und erzeugt jetzt vielfach elektrische Lichter, deren Stärke nicht grösser ist als 50 Carcel-Brenner und weniger.

Wenn man das Licht des elektrischen Flammenbogens durch eine bestimmte Anzahl von Licht-Einheiten, z. B. durch 1000 Normalkerzen, ausdrückt, so darf man nicht glauben, dass man eine solche Zahl von Kerzenflammen nur dicht zusammenzustellen brauche, um einen gleichen Effect zu haben, den das elektrische Licht gewährt. Die Gruppe von 1000 Paraffinkerzen würde wohl eine gleiche Lichtmenge ausgeben als der Flammenbogen, aber es würde ihr der das Auge blendende Glanz fehlen, welchen wir an dem elektrischen Lichte wahrnehmen und den auch die Sonne zeigt.

Der grössere oder geringere Glanz eines Lichtes hängt nämlich nicht bloss von der Menge des ausgestrahlten Lichtes ab, sondern auch von der Grösse der Fläche, welche diese Lichtmenge abgibt. Könnte man alles von einer Kerze ausgestrahlte Licht auf einen einzigen leuchtenden Punct concentriren, so hätte man in diesem Puncte den höchsten Glanz, dessen diese Kerze fähig wäre; umgekehrt vermindert man den Glanz eines intensiven Lichtes, wenn man das von letzterem ausgestrahlte Licht nicht direct in das Auge gelangen lässt, sondern mit demselben zunächst eine grössere Fläche, z. B. eine Milchglasglocke, beleuchtet und dann diese grössere Fläche betrachtet.

Wenn zwei Lichtquellen von gleicher Oberfläche gleiche Lichtmengen ausstrahlen, so sagt man, sie haben gleichen Glanz; wenn dagegen die eine 2-, 3-,...100mal so viel Licht aussendet, als die andere, so sagt man, die erstere habe einen 2-, 3-,...100mal so grossen Glanz als

die letztere. Bei jedem Vergleiche zweier Lichter in Bezug auf ihren Glanz wird daher vorausgesetzt, dass die lichtgebenden Oberflächen gleich gross sind. Obgleich der Mond sicher eine grössere Lichtmenge aussendet als eine Kerze, so ist doch der Glanz des Mondes weit geringer als der der Kerze.

Um auf Leuchtthürmen den Glanz der Lampe zu erhöhen, construirte *Fresnel* Lampen mit mehreren Dochten, von denen jeder äussere die inneren ringförmig umgab; die Dochte blieben so weit von einander entfernt, dass die Luft zwischen ihnen frei circuliren und so eine lebhafte Verbrennung des Oeles in allen Dochten unterhalten werden konnte. Auf diese Weise wurde das Licht aller Dochte auf eine kleine Oberfläche, welche dem äussersten Dochte entsprach, concentrirt, und der Glanz ihrer Flamme würde bei sechs in einander steckenden Dochten sechsmal so gross gewesen sein als bei einem Dochte, wenn die Flammen alle vollständig transparent gewesen wären. Dieses ist jedoch nicht der Fall, vielmehr absorbirt jede äussere Flamme etwas von dem Lichte, welches von den inneren Flammen ausgestrahlt wird, und nach *Allard* ist der Glanz des Lichtes bei fünf Dochten nur dreimal so gross als bei einem Dochte. Ebenderselbe fand auch, dass das von ihm angewandte elektrische Licht 255mal so viel Glanz hatte als die fünf Dochte einer *Fresnel*'schen Lampe, und einen 600mal so grossen Glanz besass als eine eindochtige Lampe.

Das Licht des elektrischen Flammenbogens übertrifft hiernach sowohl an Stärke wie an Glanz bei Weitem alle Lichtarten, welche man sonst zu Beleuchtungszwecken angewandt hat, und hält sogar in Bezug auf seinen Glanz den Vergleich mit der Sonne aus.

Nach den Messungen von *Foucault* und *Fizeau* war die Intensität eines kräftigen elektrischen Lichtes $^1/_3$, wenn man das an einem klaren Sonnentage von der Sonne uns zu-

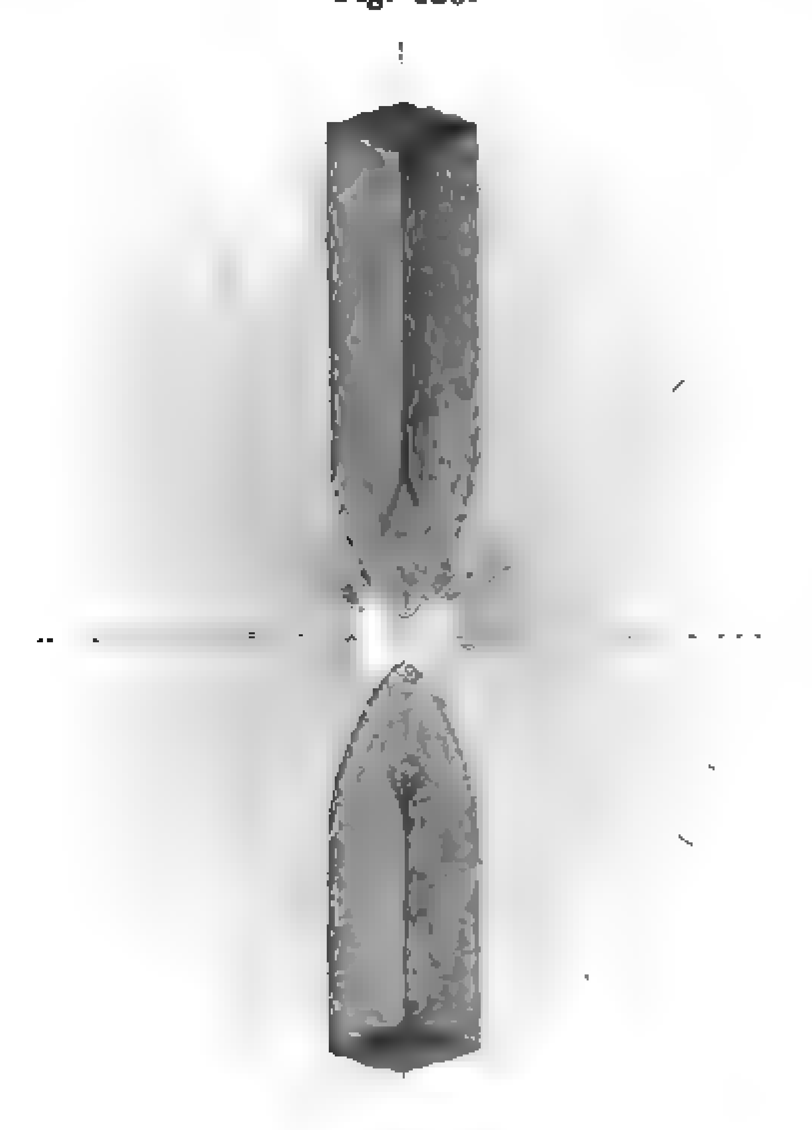
gesandte Licht durch 1 bezeichnete; die Intensität des *Drummond*'schen Kalklichtes betrug nur $\frac{66}{10000}$ und des Mondlichtes nur $\frac{3}{1000000}$. Die Sonne selbst verbreitete auf eine gegebene Fläche so viel Licht als 5774 in einer Entfernung von 33cm von der Fläche aufgestellte Kerzen. Bei diesen Angaben handelt es sich natürlich nur um das Lichtausstrahlungsvermögen einer bestimmten Fläche (Quadratmeter) des leuchtenden Körpers und nicht um die totale ausgestrahlte Lichtmenge. Messungen dieser Art, mögen sie nun durch die chemischen Wirkungen der zu vergleichenden Lichtquellen auf jodirte Silberplatten oder durch Photometer geschehen, liefern der Natur der Sache nach (wie bereits oben angeführt worden ist) sehr ungleiche Resultate, was nicht bloss von der Art und Weise herrührt, wie man die Elektricität erzeugt, sondern auch daher, dass der Flammenbogen und die das meiste Licht ausstrahlenden Kohlen in ihren verschiedenen Theilen eine sehr ungleiche und sehr veränderliche Lichtmenge entwickeln. Da die obere positive Kohle, welche das meiste Licht ausstrahlt, sich während ihres Verbrauches abstumpft und daher eine grössere leuchtende Oberfläche dem Photometer darbietet, als die untere negative Kohle, so ist es bei den Messungen der Lichtstärke durchaus nicht gleichgültig, in welche Lage man die den Lichtbogen regulirende Lampe zum Photometer bringt.

Sehr interessant sind in dieser Beziehung die Resultate, welche eine mit der Vergleichung von verschiedenen elektrischen Lichtern beauftragte Commission auf den englischen Leuchtthürmen zu South Foreland und Souter Points erhalten hat.[1]) Die magnet-elektrischen Maschinen lieferten alternirende Ströme, die Spitzen beider Kohlenstäbchen

[1]) Extract from Report of *Trinity House*, London. Correspondence and Reports on the subject of comparative Trials of Electric Lights at the South Foreland. London 1876—1877.

'annten daher in gleicher Stärke ab und behielten beide
eselbe zugespitzte Gestalt, wie sie in Fig. 128 abgebildet
t. Um einen möglichst grossen Lichtwinkel in der verti-
ılen Ebene zu erhalten, ist diese zugespitzte Form der
ohlen offenbar sehr vortheilhaft, da sie dem Lichte nach

Fig. 128.



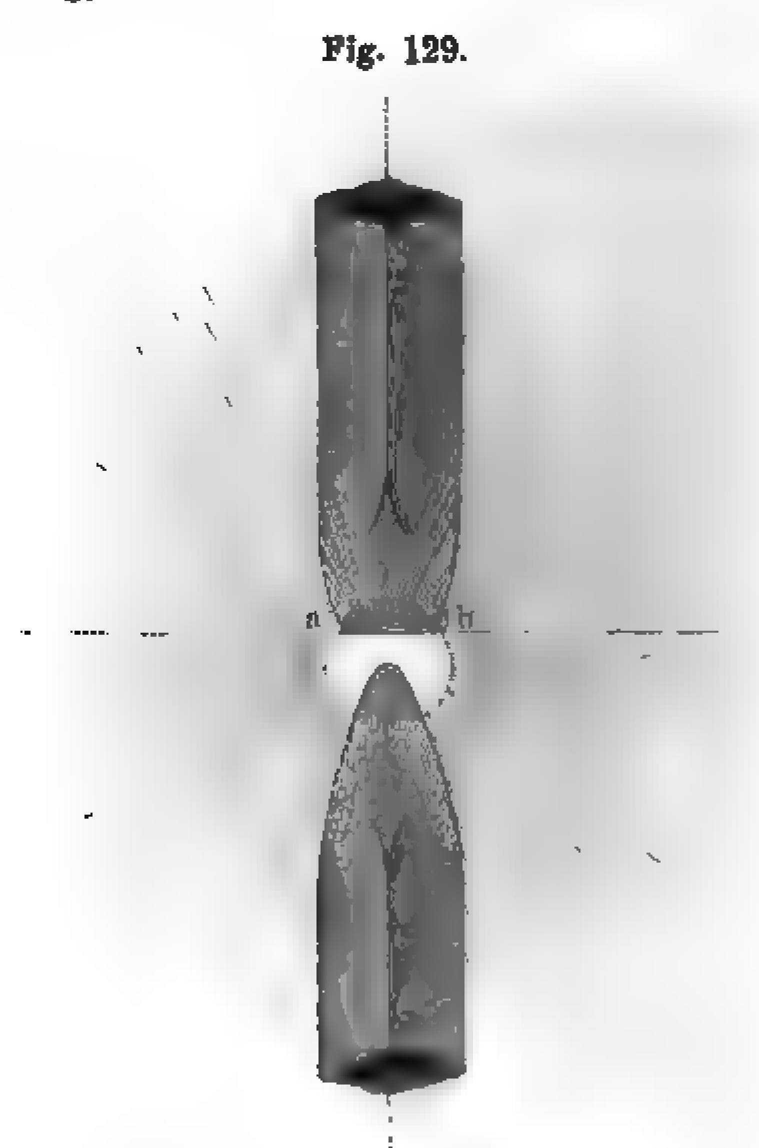
Kohlenspitzen bei Wechselströmen.

en und unten eine freie Ausbreitung gestattet; in hori-
ntaler Richtung kann dabei das Licht sich nach allen
chtungen nahezu in gleicher Weise entfalten, was jedoch
vielen Fällen für die Zwecke der Leuchtthürme nicht
thig ist, da in der Regel der zu beleuchtende Sector der
eeresfläche nicht über 180 Grad umfasst. In solchen Fällen
ıht das von der Seeseite abgekehrte Licht nutzlos verloren,

wenn man es nicht durch besondere optische Hülfsmittel, durch Spiegel, Linsen und Prismen nach vorne bringt.

Bei Anwendung von *Gramme*'schen oder *Siemens*'schen dynamo-elektrischen Maschinen behält der Strom stets dieselbe Richtung, nämlich von der oberen Kohle zu der unteren.

Fig. 129.



Kohlen bei gleichgerichteten Strömen.

Die obere Kohle wird dann schneller verbraucht als die untere und bildet eine kraterförmig vertiefte Abstumpfung, wie es die Figur 129 zeigt.[1] Man sieht sofort, dass ein Theil

[1] Bei ruhigem geräuschlosem und länger (1/2 Stunde) andauerndem Brennen eines Lichtbogens von 3/16 Zoll Länge (vergl. *Wiedemann*'s Annalen, Beiblätter 4, p. 682), soll die Oberfläche des auf der positiven Kohle gebildeten Kraters nahe proportional der Strom-Intensität sein.

es erzeugten Lichtes sich nicht nach oben ausbreiten nd daher nicht zu den oberen Prismen des optischen ›pparates gelangen kann, weil die äusseren Ränder *a b* er Kraterfläche dasselbe nicht durchlassen. Um dieses u verhüten und eine möglichst grosse Lichtfülle nach einer eite hin zu gewinnen, werden die Kohlenspitzen nicht

Fig. 130.

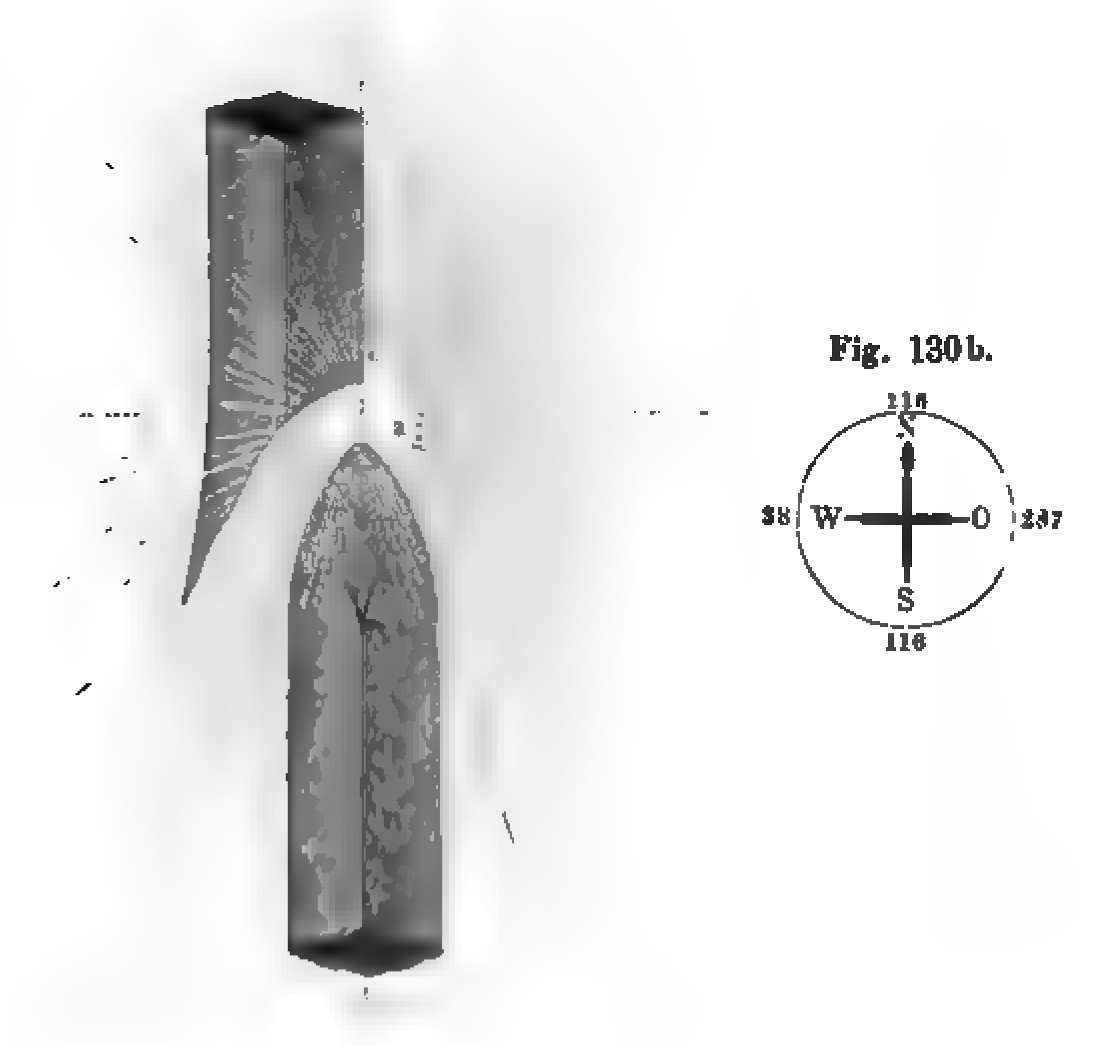


Fig. 130b.

Kohlen mit nicht zusammenfallenden Axen.

'ertical untereinander gestellt, wie in Fig. 129, sondern lerart angeordnet, dass die Achse der unteren Kohle mit ler vorderen verticalen Kante der oberen Kohle beinahe ;usammenfällt, wie es in Fig. 130 abgebildet ist. Bei dieser Anordnung gelangt eine reiche Fülle von Licht, welches von ·r am intensivsten glühenden oberen Kohle von grosser und lich gerichteter Oberfläche ausgestrahlt wird, nach einer

und derselben Richtung hin; dabei ist das Licht noch weit beständiger und ruhiger als bei den anderen Anordnungen, weil der Strom durch die obere Kohle stets nach der vorderen Kante *a* gerichtet bleibt. Die Versuche ergaben, dass bei der letzten Stellung der beiden Kohlenstäbchen die Lichtstärke nach den verschiedenen Richtungen rund um den Flammenbogen herum sehr verschieden war. Bezeichnet man die Lichtstärke für den Fall, dass die Achsen der beiden Kohlenstäbe in einer und derselben verticalen Ebene liegen, mit 100, so stellen die vier Zahlen in dem Kreise (Fig. 130b.) die verschiedenen Lichtstärken in den vier Hauptrichtungen *O*, *W*, *N* und *S* rund um den Lichtbogen herum dar. Das Verhältniss der Intensitäten ist dann

nach	Ost	oder	vorn	wie	287	zu 100,
„	Nord	„	seitlich	„	116	„ 100,
„	Süd	„	seitlich	„	116	„ 100,
„	West	„	hinten	„	38	„ 100.

Aus dem Gesagten ergibt sich bereits, warum zu gewöhnlichen Beleuchtungszwecken die Verwendung gleichgerichteter Ströme gegenüber den Wechselströmen einen erheblichen Vortheil gewährt. Derselbe entsteht dadurch, dass bei den gleichgerichteten Strömen die obere Kohle sich aushöhlt und etwa 65 % der totalen Lichtmenge nach unten ausstrahlt, nur wenig Licht an Decken und Wänden verloren geht und eine gute Bodenbeleuchtung erzielt wird; während bei Wechselströmen das nach allen Richtungen zerstreute Licht erst durch Reflectoren auf den Boden geworfen werden muss. Zudem ist durch viele Versuche constatirt, dass gleichgerichtete Ströme einen geringeren Verbrauch an Kohlenstäben gewähren.

Noch deutlicher ergibt sich dieses bei dem Studium der folgenden Tabellen, welche dem Werke *Fontaine's*, „Die elektrische Beleuchtung“, entnommen sind.

Tabelle I.

Lichtstärken nach verschiedenen Richtungen.

(Continuirliche Ströme.)

Ansicht von unten.		Ansicht von oben.		
Neigung des obachteten chtstrahles zur rizontalen.	Lichtstärke in Carcel-Brennern.	Neigung des beobachteten Lichtstrahles zur Horizontalen.	Lichtstärke in Carcel-Brennern.	Bemerkungen.
0°	225	0°	225	Bei allen diesen Versuchen machte die Maschine 750 Touren, der Verbrauch an Betriebskraft war 202 kgm, der Abstand beider Kohlen 3 mm. Die Länge des Kabels 160 m, die Abnutzung der Kohlen 0,07 m per Stunde.
15°	400	15°	144	
30°	822	30°	130	
45°	1175	45°	119	
60°	1325	60°	79	
75°	1051	75°	21	
90°	0	90°	12	

„Als Mittel aus 24 Ablesungen, 12 oberhalb, 12 unterhalb der Horizontalen, fanden wir 458 Carcel-Brenner. Dies zeigt, dass die in horizontaler Richtung gemessene Lichtstärke ziemlich genau die Hälfte der mittleren Lichtstärke nach allen Richtungen ist.

Will man demnach die Lichtstärke eines elektrischen Apparates mit continuirlichen Strömen bestimmen, so genügt es, eine photometrische Messung in der Weise zu nehmen, dass die Carcel-Lampe, das Photometer und das elektrische Licht sich in derselben Horizontalen befinden, und die so gewonnene Lichtstärke mit zwei zu multipliciren, das erhaltene Resultat wird dann das wahre Mittel der Lichtstärke sein.

Benutzt man an Stelle einer Maschine mit continuirlichen Strömen eine Maschine mit Wechselströmen, so erhält man sehr abweichende Resultate. Das Maximum der Intensität findet sich hier 15° unter der Horizontalen, weicht aber nur sehr wenig von der in horizontaler Richtung gemessenen Lichtstärke ab.

Im Allgemeinen sind bei gleichem Kraftaufwand die Lichtstärken in horizontaler Richtung bei Wechselströmen kleiner als bei continuirlichen Strömen; wir haben indessen in einem speciellen Fall mit einem Kraftaufwand von 205 kgm 225 Carcel-Brenner, also fast genau das nämliche Resultat wie oben, erzielt. Damit endigt aber auch die Aehnlichkeit der mit beiden Arten Maschinen erzielten Resultate und die Tabelle II macht die Inferiorität der Wechselströme deutlich erkennbar.

Das Mittel aus 24 Beobachtungen ist hier 160 Carcel-Brenner, das Verhältniss der totalen Lichtstärke einer Wechselstrom-Maschine zu einer Maschine mit continuirlichem Strom ist somit 160 : 458. Die letztere liefert demnach mit demselben Aufwand an Betriebskraft dreimal so viel Licht.

Tabelle II.

Lichtstärken nach verschiedenen Richtungen.

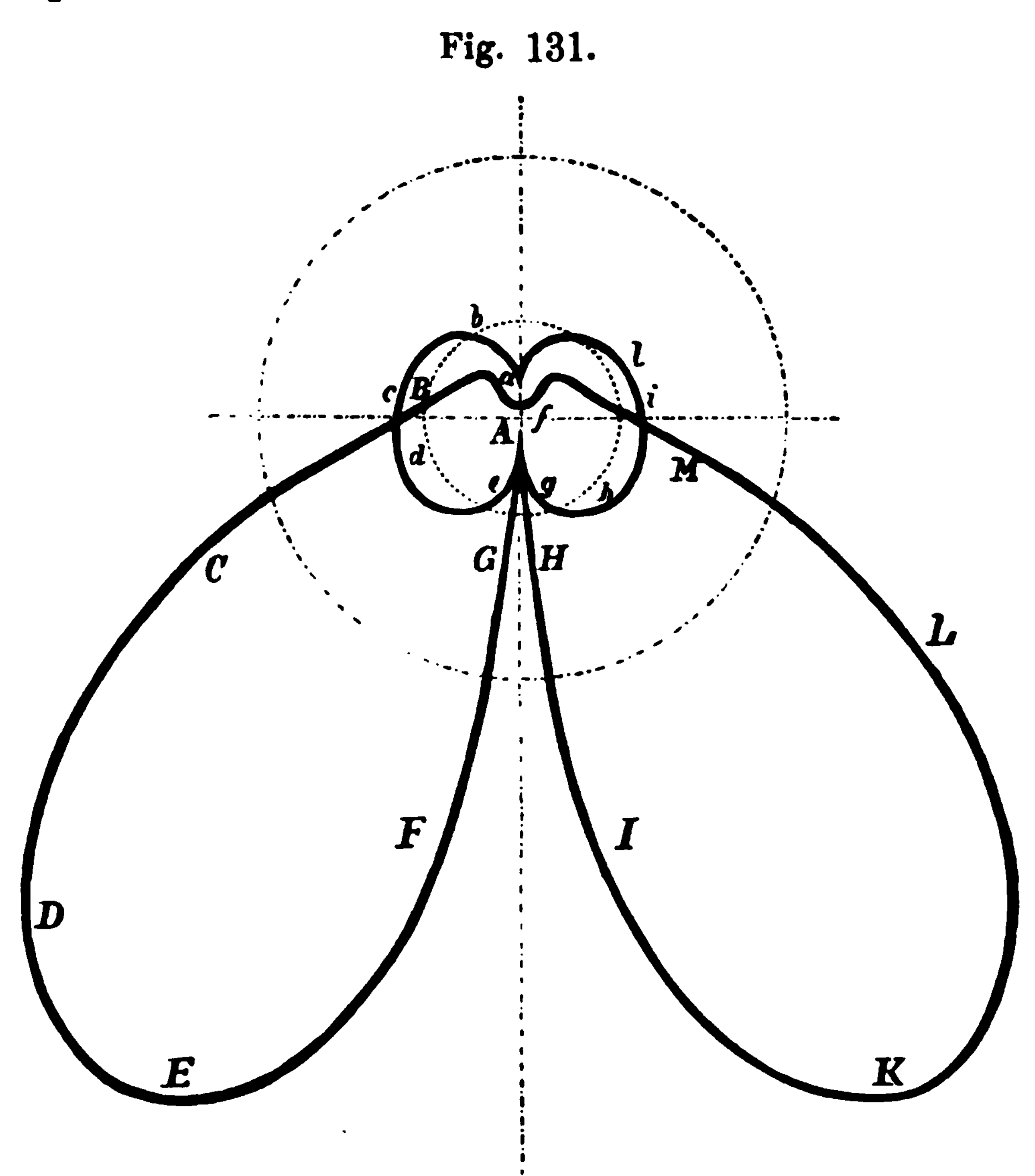
(Wechselströme.)

Ansicht von unten.		Ansicht von oben.		Bemerkungen.
Neigung des beobachteten Lichtstrahles zur Horizontalen.	Lichtstärke in Carcel-Brennern.	Neigung des beobachteten Lichtstrahles zur Horizontalen.	Lichtstärke in Carcel-Brennern.	
0	225	0	215	Die erforderliche Betriebskraft war während der ganzen Dauer der Experimente 205 kgm.
15	230	15	207	
30	225	30	195	
45	207	45	180	
60	180	60	160	
75	127	75	140	
90	0	90	0	

Um diese Ueberlegenheit deutlich ins Auge springen zu machen, haben wir die in Fig. 131 abgebildeten Curven entworfen, welche die nach allen Richtungen erhaltenen

Lichtstärken graphisch darstellen. Die Linie *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H*, *I*, *K*, *L*, *M*, *A* bezieht sich auf die continuirlichen Ströme, die Linie *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, *l*, *a* auf die Wechselströme. Die punctirten Kreise entsprechen den respectiven mittleren Lichtstärken. Der Brennpunct war im Scheitelpunct beider Achsen."

Fig. 131.



Graphische Darstellung der Lichtstärken.

Von grossem Einflusse bei photometrischen Messungen ist auch, ob die Messung näher oder weiter vom elektrischen Lichte stattfindet. In dem ersten Falle wirkt nämlich das elektrische Licht durch das Papier des Photometers hindurch und hilft so der Normalkerze, so dass man eine um so schwächere Lichtstärke erzielt, in je näherer Entfernung vom Photometer sie gemessen wird. Bedenkt man dabei, dass die gewöhnlichen Angaben nur Nominalwerthe sind,

von denen man sich keine Vorstellung machen kann, so wird man Herrn *Preece* beipflichten, der in einer Versammlung gegen den Gebrauch bezw. Missbrauch der Angaben über Licht-Intensität protestirte und vorschlug, Licht-Intensitäten durch die Fähigkeit auszudrücken, eine gewisse Bodenfläche in einem bestimmten Grade zu erhellen. Solche Angaben würden besonderen Werth erhalten, wenn eine Lampe die günstigste Stellung zur gegebenen Bodenfläche erhalten könnte. Diese ist z. B. für eine kreisförmige Bodenfläche die, dass der Lichtbogen sich in einer auf der Mitte des zu beleuchtenden Kreises errichteten Verticalen befindet, in einer Höhe, die etwa 0,7 des Radius des Kreises beträgt.[1]) In der Praxis kann jedoch in den seltensten Fällen diese Höhe angestrebt werden; man muss sich eben begnügen, die Lampe möglichst hoch zu befestigen, um so dem Maximum der Helligkeit wenigstens nahe zu kommen. Für diesen Fall hat bereits *R. E. Crompton* den Vorschlag *Preece's* ausgeführt; nach seinen Angaben gibt z. B. eine Flamme, deren Lichtstärke zu 4000 N.-K. bestimmt war, bei angegebener Höhe und Grösse der zu beleuchtenden Fläche folgende Helligkeit:

Arbeit pro Flamme in Pferdekräften.	Höhe der Lampe über dem Boden in m.	Bodenfläche in qm.	Helligkeitsgrad.
2½	4,88	232	1
2½	5,49	444	1
2½	6,10	920	2
2¾	13,12	1670	2
4	12,20	6700	3
4	12,20	7400	3

wenn bei der Bestimmung die Beleuchtung der entferntesten Puncte der Bodenfläche maassgebend ist und folgende De-

[1]) Z. f. a. E. II, p. 384, und III, p. 316.

nition der Helligkeitsgrade zu Grunde gelegt wird. „Bei em ersten Helligkeitsgrad kann jede feine Arbeit, welche onst eine 60,96 bis 91,44 cm entfernte Gasflamme erfordert, errichtet werden; bei dem zweiten Helligkeitsgrade kann ine Zeitung überall bequem gelesen werden; bei dem dritten lelligkeitsgrade sind die entferntesten Puncte der zu be- euchtenden Bodenfläche eben so stark beleuchtet, wie bei ntensivem Mondenschein." Es ist nicht zu leugnen, dass ei den gemachten Angaben der Leser eine weit präcisere orstellung gewinnt als bei den früheren.

70. Beschaffenheit und Fabrication der Kohlenstäbe. *Davy* gebrauchte bei seinen grossartigen Versuchen über en *Volta*'schen Flammenbogen Stäbchen von Holzkohlen, elche vorher geglüht und dann in Wasser oder in Queck- ilber abgelöscht waren. Aber dieselben leiteten wegen ihrer eringen Dichtigkeit den Strom schlecht, erhitzten sich ihrer anzen Länge nach bedeutend und verbrannten in der freien uft sehr schnell. *Foucault* ersetzte diese vegetabilische Kohle durch eine mineralische, welche sich bei der Gas- ereitung aus Kohle in den Retorten ansetzt; die Retorten- ohle ist sehr dicht und fest, zerbricht oder zerbröckelt icht leicht, erhitzt sich viel weniger, leitet den Strom besser nd widersteht dem Angriffe des heissen Flammenbogens inger als die Holzkohle. Indessen hat auch die Gaskohle och ihre Mängel; da ihre Zusammensetzung nicht gleich- örmig ist, so nutzt sie sich oft unregelmässig ab und er Bogen zeigt nicht selten starke Schwankungen in der ichtstärke.

Nach *Le Roux* rührt diese Unbeständigkeit des Lichtes auptsächlich von fremden Beimengungen, besonders von lkalischen und erdigen Salzen und von Kieselsäure her, elche weniger feuerbeständig sind als die Kohle und daher n der Hitze des Bogens sich verflüchtigen, in Dampfform bergehen und zum grössten Theile die Flamme bilden,

welche den eigentlichen, aus den glühenden Kohlentheilchen bestehenden Lichtbogen umgibt. Diese Flamme aber hat wegen ihres viel grössern Querschnittes eine niedrigere Temperatur als die glühenden Kohlentheilchen, und besitzt als Gas eine verhältnissmässig geringere Leuchtkraft. Alles das erklärt die auffallende Abnahme der Licht-Intensität im Bogen, die immer eintritt, wenn sich diese Flamme bildet. Man hat sich vielfach bemüht, durch die Fabrication einer künstlichen Kohle diese Uebelstände zu beseitigen; aber entweder waren die Fabricationsmethoden zu umständlich oder zu kostspielig, oder sie lieferten überhaupt kein besseres Material als die Retortenkohle. Vorzügliche Resultate erhielten *Curmer* und *Jacquelain*, von denen der erstere eine Mischung von organischen Substanzen bei möglichst hoher Temperatur verkohlte, die so entstandene sehr poröse Kohle mit kohlenstoffreichen Materien imprägnirte und dieses Verfahren mehrmal nach einander wiederholte, der andere die Bedingungen, unter denen bei der Gasbereitung die Retortenkohle sich bildet, nachzuahmen suchte. Anstatt aber die stets unreine Steinkohle zu verwenden, nahm *Jacquelain* Steinkohlentheer, der bereits eine Destillation durchgemacht hat und daher von allen flüchtigen Unreinigkeiten befreit ist. Indem er denselben längere Zeit mit den glühenden Wänden von besonders dazu geeigneten Gefässen in Berührung erhielt, bekam er eine Art Retortenkohle von fast vollständiger Reinheit. Die aus derselben hergestellten Kohlenstäbchen zeichneten sich in der That vor allen anderen bekannten Kohlensorten in hohem Grade aus; das Licht, welches sie erzeugten, war durchaus ruhig, viel weisser als gewöhnlich und bei gleicher Stromstärke etwa um $^1/_4$ intensiver als das der übrigen Kohlen. Aber auch dieses Verfahren scheint zu kostspielig gewesen zu sein, wenigstens hat *Jacquelain* dasselbe nicht weiter verfolgt.

Wir könnten noch viele Techniker anführen, welche sich

um die Verbesserung in der Fabrication der Kohlenstäbchen verdient gemacht haben, so insbesondere schon früher *Staite & Edwards* (1846), *Staite & Petrie* (1849), *le Molt* und *Archereau* (1849), sodann *Lacassagne & Thiers*, *Jaspar*, *Deleuil*, *Peyret*, *Gaiffe* u. A., allein es würde uns zu weit von unserm Gegenstande abführen, wenn wir auf alle diese verschiedenen Fabricationsmethoden näher eingehen wollten; auch haben dieselben heute kein praktisches Interesse mehr.

Unter denjenigen Technikern, welche sich gegenwärtig mit der Fabrication von Kohlenstäben für das elektrische Licht befassen, stehen *Carré* und *Gaudoin* in Paris in erster Linie. *Carré* empfiehlt für die Herstellung künstlicher Kohle eine Mischung von gepulvertem Coaks, calcinirtem Ofenruss und einen Syrup, der aus 30 Theilen Rohrzucker und 12 Theilen Gummi zusammengesetzt ist. Die Masse wird fein zerrieben, dann stark comprimirt, in Stäbe zerschnitten und dann wiederholt längere Zeit einer starken Rothglühhitze ausgesetzt.

Die *Carré*'schen Kohlenstäbe sind zäher und fester als die, welche aus Retortenkohle geschnitten sind. Sie sind sehr gerade und regelmässig geformt und ihre cylindrische Form macht, dass sie bei ihrer Abnutzung stets die anfängliche Zuspitzung behalten; sie lassen sich bei einem Durchmesser von 1 cm in einer Länge von 50 cm verwenden, ohne dass man einen Bruch zu befürchten hat, und *Fontaine* rügt nur an ihnen als einzigen Uebelstand ihre nicht gerade grosse Haltbarkeit, die Bildung kleiner Flammen zwischen den glühenden Spitzen und leichte Unregelmässigkeiten in der Lichtstärke.

Gaudoin, der wie *Carré* zu dem Ergebnisse gelangte, dass die Beimengung fremder Stoffe zu der Kohle zwar die Lichtstärke erhöhen könne, aber zugleich in sehr nachtheiliger Weise Flammen und Rauch erzeuge, ist schliesslich

zu einer Fabricationsmethode gekommen, welche ganz vorzügliche Kohlenstäbe liefert. Sein Verfahren besteht im Wesentlichen darin, dass er bei hoher Temperatur in geschlossenen Gefässen und unter Ausschluss der Luft trockene oder flüssige Fette, Theere, Harze, natürliche oder künstliche Oele, überhaupt solche kohlenstoffreiche organische Substanzen sich zersetzen lässt, welche eine reine Kohle zurücklassen. Diese Destillation wird in Tiegeln von Graphit vorgenommen und jede Berührung der zu zersetzenden Substanzen mit Eisen, Kupfer oder sonstigen Stoffen, welche die zurückbleibende Kohle verunreinigen könnten, sorgfältig vermieden. Nachdem die so erhaltene Kohle möglichst fein gepulvert worden ist, wird sie mit Russ oder mit gewissen, bei der Destillation als Nebenproducte abfallenden Kohlenwasserstoffen gemengt und unter einem starken Drucke einer hydraulischen Presse nach Art der Bleistifte zu cylindrischen Stäben geformt.

Fontaine hat mit grossem Aufwand von Zeit und Kosten zu wiederholten Malen eine grosse Anzahl der verschiedensten für das elektrische Licht bestimmten Kohlenstäbe einer vergleichenden Untersuchung unterzogen und gefunden, dass die *Gaudoin*'schen Kohlen in jeder Beziehung die besten sind. Die Ergebnisse seiner Untersuchung sind in folgenden Tabellen zusammengestellt:

Bezeichnung der Kohlen.	Dimensionen.	Geschwindigkeit der Maschine.	Verbrauch an negativer Kohle. mm	Verbrauch an positiver Kohle. mm	Gesammtverbrauch. mm	Mittlerer Verbrauch. mm	Verhalten des Lichtes in Bezug auf Regelmässigkeit.	Bemerkungen.
Retortenkohle	9 qmm	800	19	36	55	63	Regelmässig.	Funkeln, kurze Unterbrechung.
	9 „	920	23	48	71		Zieml. regelmässig.	Theilweises Zerfallen der Kohlen.
Archereau	10 mm Durchm.	800	20	60	80	85	Ziemlich ruhig.	Theilweises Spalten der Kohlen, kleine Flämmchen.
	do.	920	30	60	90		Ziemlich ruhig.	Aschenbildung mit viel Eisenoxyd; weisses Licht; gute Zuspitzung.
Carré	10,4 mm Durchm.	800	18	60	78	92	Unruhig.	Theilweises Zerfallen der Kohle; einige Flämmchen; mehr Aschenbildung und Rothglühen auf eine grössere Länge als bei der vorigen Kohle.
	do.	920	26	80	106		Ziemlich ruhig.	
Gaudoin	11,3 mm Durchm.	800	20	38	58	73	Sehr regelmässig.	Kein Zerfallen der Kohle; keine Flämmchen; weniger Aschenbildung als bei den Kohlen von *Carré* und *Archereau*.
	do.	920	38	50	88		Sehr regelmässig.	

Die Lichtstärke betrug bei der Retortenkohle 103 Carcel-Brenner und schwankte bei den präparirten Kohlen von *Archereau* und *Carré* zwischen 120 und 180, bei denen von *Gaudoin* zwischen 200 und 210 Carcel-Brennern. Im Mittel ergab sich bei den erstgenannten Kohlenstäben eine Lichtstärke von 150, dagegen bei der Kohle von *Gaudoin* von 205 Carcel-Brennern.

Die Abnutzung der Kohlenstäbe war für den gleichen Querschnitt von 1 qcm

bei der Retortenkohle .... 51 mm,
„ „ Kohle von *Archereau* .... 66 „
„ „ „ „ *Gaudoin* ...... 73 „
„ „ „ „ *Carré* .... 77 „

Im Verhältnisse zum erzeugten Lichte betrug dagegen diese Abnutzung

für die Retortenkohlen .... 49 mm per 100 C.-Brenner.
„ „ Kohlen von *Archerau* .. 44 „ „ „ „
„ „ „ „ *Carré* ..... 51 „ „ „ „
„ „ „ „ *Gaudoin* ... 35 „ „ „ „

Die vergleichenden Versuche wurden mit einer von *Breguet* gebauten *Gramme*'schen Maschine und mit einer *Carré*'schen Lampe angestellt. Die Versuche wurden später mit einer stärkeren Maschine und einer *Serrin*'schen Lampe nochmals wiederholt, wobei besonders darauf gesehen wurde, dass die Messung der Lichtstärke so genau als möglich geschah.

Bezeichnung der Kohlen.	Form und Dimensionen.	Querschnitt in Qdr Millimeter. qmm	Gesammte Abnutzung per Stunde. mm	Mittlere Lichtstärk in Carcel-Br.	Länge des Lichtbogens. mm	Tourenzahl per Minute.	Regelmässigkeit des Lichtes.	Bemerkungen.
Retortenkohle guter Qualität	Viereckig 9 mm Seite	81	60	120	2,5	820	Ziemlich gut.	Vielfach Aufblitzen, Abspringen eines kleinen Stückes Kohle. Zucken. Sehr unregelmässige Zuspitzung der Kohlen.
Kohlen von *Archereau*, neues Muster. ...	Rund 10 mm Durchm.	78	68	173	3	820	Ganz unregelmässig.	Zerfallen und facettenartige Zuspitzung der Kohle. Flämmchen. Lichtstärke sehr schwankend.
Kohlen von *Carré*, neues Muster.....	Rund 9 mm Durchm.	64	69	175	3	820	Mittelmässig.	Kleine Flämmchen, Licht von sehr ungleicher Stärke, regelmässige Abnutzung der Kohle.
Kohlen von *Gaudoin*, Model I	Rund 11,2 mm Durchm.	98	80	203	3	820	Gut.	Weder Flämmchen noch Zucken, Licht etwas röthlich aber sehr constant.
Kohlen von *Gaudoin*, (aus Holzkohle bereitet)	Rund 11,5 mm Durchm.	78	78	240	3	820	Ziemlich gut.	Licht sehr weiss, aber weniger beständig, als bei Model I. Keine Flämmchen. Geringe Schwankungen.

Die Abnutzung der Kohlenstäbe war hierbei für den gleichen Querschnitt von 1qcm:

bei der Kohle von *Carré* 44mm,
„ „ Retortenkohle .... 49 „
„ „ Kohle von *Archereau* .... 53 „
„ „ „ „ *Gaudoin* (aus Holzkohle). 61 „
„ „ „ „ „ I. Mod........ 78 „

Im Verhältnisse zum erzeugten Lichte betrug die Abnutzung:

für die Kohle von *Gaudoin*
(aus Holzkohle) 32mm per 100 C.-Brenner,
„ „ „ „ *Archereau* .... 39 „ „ 100 „
„ „ „ „ *Gaudoin*, I. Mod. 40 „ „ 100 „
„ „ Retortenkohle .... 50 „ „ 100 „

Das Licht der *Gaudoin*'schen Kohlen, I. Mod., war etwas weniger regelmässig wie bei den Versuchen vom 6. November 1876. Bei den Kohlen von *Carré* schwankte die Lichtstärke in weniger als einer Minute zwischen 100 und 250 Carcel-Brennern; sie wechselte rings um die Kohlenspitzen herum, wie es bei Strömen von alternirender Richtung zu geschehen pflegt. Die Kohlen von *Archereau* nutzten sich zwar langsam ab, aber ihr Licht war so wenig beständig, dass die photometrischen Messungen nur mit Mühe ausgeführt werden konnten. Nur die Retortenkohlen zeigten sich ebenso dauerhaft und von derselben Lichtstärke, leider aber auch ebenso unbeständig als bei den früheren Versuchen.

Das Problem, eine gute, allen Anforderungen an das Licht entsprechende und vor Allem eine dauerhafte und widerstandsfähige Kohle zu erzeugen, ist hiernach noch nicht gelöst. Die rasche Abnutzung derselben bedingt im Verlaufe einer Nacht eine mehrmalige Auswechselung in den Lampen, was nicht bloss umständlich, sondern zuweilen auch mit einer, wenn auch rasch vorübergehenden Störung des Betriebes verbunden ist.

Es ist eine bekannte Erfahrung, dass die Kohlenstäbe auf eine Strecke von 7 bis 8 cm von ihrer Spitze rothglühend werden, was offenbar einem Verluste an Leuchtkraft des Flammenbogens gleich kommt. Diesen Uebelstand sucht *E. Reynier* dadurch zu beseitigen, dass er die Kohlen mit einem dünnen metallischen Ueberzuge versieht und so jedes seitliche Ueberhitzen und Verbrennen verhütet. Die in den Werkstätten von *Sautter & Lemonier* mit einer älteren *Gramme*'schen Maschine hierüber angestellten Versuche ergaben allerdings, dass die metallisirten Kohlen sich bedeutend langsamer abnutzen als die gewöhnlichen reinen Kohlen. Die hierüber mit *Carré*'schen Kohlenstäben und einer *Serrin*'schen Lampe angestellten Versuche lieferten folgende Resultate:

Dimensionen der Kohlen.	Beschaffenheit der Oberfläche der Kohlen.	Verbrauch von Kohlen in 1 Stunde. am + Pol.	am — Pol.	Total.	Lichtstärke in Carcel-Brennern.
Durchmesser = 7 mm Querschnitt = 0,38 qcm	frei	166 mm	68 mm	234 mm	947
	verkupfert ..	146 „	40 „	186 „	947
	vernickelt...	106 „	38 „	144 „	947
Durchmesser = 9 mm Querschnitt = 0,64 qcm	frei	104 mm	50 mm	154 mm	528
	verkupfert ..	98 „	34 „	132 „	553
	vernickelt...	68 „	36 „	104 „	516

Die Versuche ergaben ausserdem noch für die freien Kohlen, dass die Zuspitzung besser und auf eine längere Strecke vor sich ging bei kleinerem als bei grösserem Durchmesser, was leicht zu begreifen ist; dass dagegen bei den metallisirten Kohlen das Umgekehrte eintritt, ist schwerer zu erklären.

Aus den vorstehenden Versuchen darf man schliessen:

1. Dass, abgesehen von der besseren Zuspitzung der positiven Kohle, die Vernickelung der Kohlen ihre Dauerhaftigkeit bei 9 mm Durchmesser um 50 % und bei 7 mm um 62 % verbessert. Die Verkupferung der Kohlen verlängert ihre Dauer ebenfalls, aber nicht so viel als die Vernickelung.
2. Bei gleichem Querschnitte scheint die Metallisirung der Kohlen auf die Lichtstärke keinen Einfluss auszuüben.
3. Die Leuchtkraft der dünneren Kohlen ist bei gleicher Stromstärke weit grösser, als die der dickeren, was theils davon herrührt, dass die dünnen Stäbe dem Strome einen grössern Widerstand entgegensetzen und daher sich auch stärker erhitzen als die dicken, theils davon, dass die sogenannte Polarisation der Kohlenstäbe bei dünnen Stäben weit energischer auftritt, als bei Stäben von grossem Querschnitte.
4. Die Metallisirung der Kohlenstäbe erweist sich in ökonomischer Beziehung als vortheilhaft, weil sie gestattet, bei gleicher Dauer der Verwendung statt der dicken Stäbe solche von kleinerem Querschnitte zu nehmen.

Nach *Iron* 1879, Bd. 14, p. 300, stellte auch *H. W. Wiley* verschiedene Versuche an, um die Kohlen gegen zu rasches Verbrennen zu schützen, und erlangte die günstigsten Erfolge, wenn er die Kohlen mit Kupfer plattirte und darüber mit einem etwa 1 mm dicken Ueberzug von fein gebranntem Gyps (Plaster of Paris) versah, um das Kupfer gegen Oxydation zu schützen.

Das Metallisiren ist übrigens eine sehr einfache Operation und geschieht auf galvanischem Wege. Auch gelten die vorstehenden Schlüsse nur für den Fall, dass der elektrische Strom durch Anwendung von magnet- oder dynamo-

elektrischen Maschinen erzeugt wird, bei denen der Widerstand stets derselbe ist, wogegen der Widerstand einer Batterie je nach der Verbindung der Elemente verschieden ausfällt, und es daher durch passende Verbindung dieser Elemente leicht einzurichten ist, dass die dickeren Kohlenstäbe dieselbe Lichtstärke geben wie die dünnen.

71. Verhältniss von Lichtstärke und Arbeitsverbrauch. Die gesammte, von dem elektrischen Lichtbogen ausgehende Strahlung von Licht und Wärme ist nur eine andere Form der mechanischen Arbeit, welche von der Betriebskraft der magnet- oder der dynamo-elektrischen Maschine aufgewendet werden muss, um den Flammenbogen zu erzeugen, und diese mechanische Arbeit ist wieder nur eine andere Form der molekularen Bewegung, welche durch das Verbrennen der Kohlen in der Dampfmaschine oder des Leuchtgases in dem Gasmotor u. s. w. erzeugt wird. Es tritt uns daher die erste Frage entgegen, welche Lichtstärke dem Aufwande einer ganz bestimmten Arbeit, z. B. von 1 Pferdekraft, entspricht.

Die Versuche, welche hierüber angestellt werden, sind jedesmal so angeordnet, dass man, wenn die Lichtmaschine die erforderliche Anzahl von Touren macht, nach den gewöhnlichen Methoden mittelst eines Bremszaumes die Arbeit der Maschine misst, während zu gleicher Zeit die Lichtstärke des Flammenbogens mittelst eines Photometers gemessen wird. Die Resultate dieser Versuche sind aber nie ganz genau, da es sehr schwierig ist, diese Messungen genau gleichzeitig zu machen und auch bei regelmässigem Gange der Maschine in Folge von Unreinigkeiten oder einer ungleichartigen Zusammensetzung der Kohlen in dem Bogen Schwankungen der Lichtstärke entstehen, die das blosse Auge nicht wahrnimmt, die sich aber im Photometer ununterbrochen zu erkennen geben. Hierzu kommt noch, dass das Licht des Flammenbogens im Photometer stets schwach rosaviolet, dagegen das der Carcel-Lampe, mit welcher es

verglichen wird, grünlich gefärbt erscheint und es immer schwierig ist, die Lichtstärken zweier Lichter von ungleicher Farbe mit einander zu vergleichen. Indessen sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen doch hinreichend verlässlich, um bei Berechnungen über die Kosten des elektrischen Lichtes und die zweckmässigste Art seiner Erzeugung die nöthige Unterlage zu geben.

Wenn man den Motor, z. B. eine Dampfmaschine, auf die zur Erzeugung des elektrischen Lichtes bestimmte magnet- oder dynamo-elektrische Maschine einwirken lässt, ohne den Kreislauf für den Strom zu schliessen, so hat dieselbe nicht viel mehr Arbeit zu leisten, als zur Ueberwindung der Reibung erforderlich ist; ihre Kraft wird fast ganz zur Umdrehung des Ringes, der Trommel oder der Magnete verwandt und diese machen vielleicht 1000 Umläufe in der Minute, ohne dass ein Strom vorhanden ist. Sobald man aber die Leitung schliesst und der Strom entsteht, empfindet der Motor den entstehenden Widerstand in der Lichtmaschine; er arbeitet sichtlich mit mehr Anstrengung und seine Bewegung wird langsamer. Mit Hülfe eines Bremsdynamometers[1]) kann man nun die jedesmalige Arbeitsleistung des Motors leicht ermitteln; sie ist bedeutend, wenn der erzeugte Strom stark ist, sie wird kleiner, wenn die Stromstärke abnimmt und sie ist fast Null, wenn der Strom aufhört; in jedem Falle ist die von dem Motor zum Betriebe der Maschine aufgewendete Arbeit der Grösse der Stromstärke entsprechend. Diese mechanische Massenarbeit setzt sich in der Lichtmaschine grösstentheils in diejenige Form von Molekular-Arbeit um, welche wir Elektricität nennen, und in dem Flammenbogen erleidet diese letztere Bewegungsform abermals eine Umsetzung in diejenigen Molekular-Arbeiten, welche

---

[1]) Vgl. *Schuckert's* Dynamometer, *Dingler's* Polytechnisches Journal, Bd. 233, p. 301, sowie den Arbeitsmesser zur directen Anbringung an Treibriemen von *F. v. Hefner-Alteneck.* E. Z. 1881, p. 229.

wir Wärme und Licht nennen. Wenn man daher von den molekularen Arbeitsleistungen in den gesammten Drähten der Maschine und der Leitung absieht und man ausschliesslich den Anfangs- und den Endpunct dieses Vorganges ins Auge fasst, so kann man sagen, dass die mechanische Arbeit des zum Antriebe der elektrischen Maschine verwandten Motors in der Form von Aetherschwingungen oder von strahlender Energie (Licht und Wärme) zum Ausdrucke gelangt und die ganze Arbeit der Dampfmaschine in dem Flammenbogen als Licht und Wärme wieder zum Vorschein kommt.

Schon *Le Roux* hatte es versucht, an einer Alliance-Maschine das Verhältniss zwischen dem Arbeitsaufwande und der Lichtstärke zu ermitteln; aber das erhaltene Resultat war unsicher und wenig befriedigend. *Tresca* [1]) wiederholte diese Versuche in den Werkstätten von *Sautter* und *Lemonnier* in Paris mit *Gramme*'schen dynamo-elektrischen Maschinen und zwar am 16. October 1875 mit einer stärkeren Lichtmaschine von 1850 Becs-Carcel (Fig. 67) und am 4. December desselben Jahres mit einer schwächeren von 300 Becs-Carcel.

Die erste Maschine hatte folgende Dimensionen:

Elektromagnet:

Durchmesser des Eisenkerns eines Elektromagnets	70 mm,
Länge " " " "	404 "
Durchmesser eines jeden Elektromagnets mit der Drahtspule	132 "
Durchmesser des Drahtes	3,3 "
Gewicht des Drahtes auf jedem Elektromagnet	24 kg.

Ring:

Aeusserer Durchmesser des Kerns von weichem Eisen	195 mm,
Innerer " " " " " "	157 "
Breite des Kerns von weichem Eisen	119 "
Aeusserer Durchmesser des Ringes	230 "

[1]) Comptes rendus des Séances de l'Acad. des Sc. t. 82, p. 299.

Innerer Durchmesser des Ringes .... 120 mm,
Durchmesser des aufgewickelten Drahtes .... 2,6 „
Gewicht „ „ „ .... 14,50 kg.

Leitungsdrähte von der Maschine zur Lampe:

Durchmesser .... 78 mm,
Querschnitt .... 47 qmm.

Maschine:

Ganze Länge mit Riemenscheibe .... 800 mm,
„ Höhe .... 585 „
„ Breite .... 550 „

Die kleinere Maschine war einfacher gebaut und hatte folgende Dimensionen:

Elektromagnet:

Durchmesser des Eisenkerns eines Elektromagnets ...... 70 mm,
Länge „ „ „ „ ...... 355 „
Durchmesser des Elektromagnets mit Drahtspule .... 120 „
Durchmesser des Drahtes .... 3,8 „
Gewicht des Drahtes auf jedem Elektromagnet .... 14 kg.

Ring:

Aeusserer Durchmesser des Kerns von weichem Eisen ... 168 mm,
Innerer „ „ „ „ „ „ ... 123 „
Breite des Kerns von weichem Eisen .... 101 „
Aeusserer Durchmesser des Ringes .... 203 „
Innerer „ „ „ .... 119 „
Durchmesser des Drahtes .... 2 „
Gewicht des aufgewickelten Drahtes .... 4,650 kg.

Leitungsdrähte von der Maschine zur Lampe:

Durchmesser .... 2,6 mm,
Querschnitt .... 5,5 qmm.

Maschine:

Ganze Länge mit Riemenscheibe .... 650 mm,
„ Höhe .... 506 „
„ Breite .... 410 „

Die grosse Maschine speiste einen von *Gramme* selbst construirten Regulator, die kleine eine *Serrin*'sche Lampe

(§. 74); beide Lampen hatten gleiche Kohlenstäbchen von 81 qmm im Querschnitt.

Die Carcel-Lampen standen dem Photometer hinreichend nahe, während die elektrischen Lampen beim ersten Versuche 40 m, beim letzten 20 m davon entfernt werden mussten, um in dem Instrumente von beiden Lichtquellen gleiche Helligkeiten zu erzielen. In dem Momente, wo man in dem Photometer dieses zu beobachten glaubte, wurde der Beobachter am Dynamometer des Motors durch ein Signal veranlasst, ein Diagramm aufzunehmen, was in wenigen Secunden ausgeführt wurde. Ein dritter Beobachter ermittelte gleichzeitig die Tourenzahl des Dynamometers in der Minute.

Die nachstehenden Tabellen geben die Resultate der gemachten Beobachtungen.

1. Grosse Maschine (16. October 1875).

Verhältniss der Entfernungen v. Photometer 40 : 0,93,

„ „ Licht-Intensitäten........ $40^2 : 0,93^2 = 1850$.

Aufnahme-Nr.	Touren des Dynamometers per Minute.	Mittlere Ordinaten des Diagramms. mm.	Arbeit in Kilogrammmeter per Secunde.
1	238	22,50	678,28
2	251	18,89	600,56
3	248	21,74	682,82
4	244	16,60	513,00
5	241	15,59	475,86
6	244	16,65	516,23
Mittel....	244		576,12 oder 7,68 Pferdekr.

$$\text{Arbeit per 100 Becs-Carcel} = \frac{7{,}68 \times 100}{1850} = 0{,}415 \text{ Pferdekraft,}$$

Arbeit per Bec-Carcel und Secunde... = 0,31 kgm.

2. Kleine Maschine (4. December 1875).

Verhältniss der Entfernungen v. Photometer 20 : 1,15,

„ „ Licht-Intensitäten .... $20^2 : 1,15^2 = 302,4$.

Aufnahme-Nr.	Touren des Dynamometers per Minute.	Mittlere Ordinaten des Diagramms. mm.	Arbeit in Kilogrammmeter per Secunde.
1	234	7,11	201,73
2	238	6,66	200,79
3	244	7,42	225,42
Mittel....	239		210,65 oder 2,81 Pferdekr.

Arbeit per 100 Becs-Carcel $= \frac{2,81 \times 100}{302,4} = 0,92$ Pferdekraft.

Arbeit per Bec-Carcel und Secunde ... = 0,69 kgm.

Die Maschinen arbeiteten regelmässig und nur so lange, als man eine Erwärmung derselben nicht wahrnehmen konnte.

Es ergibt sich aus diesen Versuchen, dass die kleinen Maschinen nicht so vortheilhaft sind, wie die grossen; in dem vorliegenden Falle brauchte man zur Erzeugung der Lichtstärke von 1 Bec-Carcel bei Anwendung der kleinen Maschine mehr als doppelt so viel Arbeit als bei der grossen Maschine. Legt man, was der Wirklichkeit in den meisten Fällen entspricht, bei Kostenberechnungen des elektrischen Lichtes die kleinere Maschine zu Grunde, so kann man annehmen, dass für die Lichtstärke von 100 Becs-Carcel im Mittel 1 Pferdekraft erforderlich ist, und hat dann ausser den Kosten der Anlage u. s. w. nur zu ermitteln, wie theuer die Arbeitsleistung von 1 Pferdekraft zu stehen kommt.

Prof. *Hagenbach* bediente sich bei seinen Versuchen, welche theilweise schon p. 260 angeführt wurden, zur Erzeugung des elektrischen Lichtes einer *Gramme*'schen Maschine (Figur 68), einer *Serrin*'schen Lampe, §. 74, und zur Messung der Lichtstärke eines *Bunsen*'schen Photometers, wobei als Einheit des Lichtes die Paraffinkerze von 21,4 mm Durchmesser und 41,3 mm Flammenhöhe zu Grunde gelegt wurde. Um den Widerstand nach Einschaltung der Regulatorlampe zu bestimmen, wurde die Zahl der Umläufe und die Stromstärke gemessen, dann der Regulator entfernt

und so lange an dessen Stelle immer mehr Widerstände eingeschaltet, bis die frühere Zahl der Umläufe und die vorige Stromstärke wieder erreicht war. Dieses ergab für den Widerstand des Flammenbogens 4,75 S. E.[1]), was für den gesammten Widerstand während der Erzeugung des elektrischen Lichtes 6,63 S. E. gibt. Die Messung der Lichtstärken und der entsprechenden Stromstärken ergaben dann durch Rechnung und Interpolation folgende Resultate:

Zahl der Umläufe in der Minute.	Lichtstärke in Normalkerzen.	Intensität des Stromes in Cubikcentimeter Knallgas per Minute.	Elektromotorische Kraft in *Deleuil*'schen Elementen.
1700	506	119	40,8
1800	567	126	43,2
1900	628	133	45,6
2000	689	140	48,0

Versuche mit dem *Prony*'schen Bremsdynamometer zeigten, dass man zur Lichterzeugung bei 1800 Umläufen in der Minute eine Arbeitsleistung von etwa 90kgm per Secunde, also mehr als eine Pferdekraft gebraucht, und diese entsprechen einer Lichtstärke von 567 Paraffinkerzen oder von ungefähr 80 Carcel-Brennern. Bei der angewandten Maschine waren daher zur Lichterzeugung von 1 Carcel-Brenner 1,1kgm erforderlich.

Stellt man diese Resultate mit denen von *Tresca* zusammen, so erhält man bei einer Maschine für

		Arbeit per Sec. für 1 Carc.-Br.
1850 Carcel-Brenner	(*Tresca* Nr. 1)...	0,3kgm,
302 „	(„ Nr. 2)...	0,69 „
80 „	(*Hagenbach*).....	1,1 „

woraus wieder folgt, dass grosse Maschinen vortheilhafter sind, als kleine.

Hagenbach fügt noch hinzu, dass seine *Deleuil*'schen

[1]) *Hagenbach* hat die Länge des Lichtbogens nicht angegeben; vgl. die Erörterungen des §. 66.

Elemente einen innern Widerstand von 0,083 S. E. hatten und dass man also 72 Elemente hinter einander schalten müsse, um dasselbe Licht zu erhalten, welches die *Gramme*'sche Maschine bei 1700 Touren in der Minute erzeugt, und dass 86 Elemente erforderlich seien für dasselbe Licht, welches die Maschine bei 2000 Touren liefert.

Die Experimente von *Tresca* und *Hagenbach* sind schon älteren Datums und dem entsprechend mit Maschinen älterer Construction angestellt; eine Maschine neuerer Construction wurde bei den Versuchen gebraucht, über welche *Fontaine* in seinem Werke p. 211 u. f. berichtet und welche die in Abth. VI mitgetheilten Untersuchungen in mancher Beziehung ergänzen.

„Alle hier zur Sprache kommenden Experimente — sagt *Fontaine* — wurden in dem Laboratorium von *Gramme*, unter dessen persönlicher Mitwirkung mit grösster Sorgfalt ausgeführt.

Als Elektricitätsquelle diente eine *Gramme*'sche Maschine, type normal, aus den Werkstätten von *Mignon & Rouart*.

Der Regulator war System *Serrin*, Fabrication von *Breguet*.

Die Kohlen hatten einen Durchmesser von 13mm und waren nach dem *Gauduin*'schen Verfahren hergestellt.

Als Motor diente eine horizontale Gasmaschine, System *Otto*, von 5 Pferdekraft. Ein *Giroud*'scher Gasdruckregulator diente dazu, Differenzen im Gasdruck, welche den Gang der Maschine beeinflussen konnten, zu verhindern.

Die *Gramme*'sche Maschine wurde direct von der Gasmaschine getrieben.

Die Leistungsfähigkeit der Kabel war 0,95, wenn Silber gleich 1,—, ihr Querschnitt 10 □mm.

Die Tourenzahl der Gasmaschine war 160 per Minute. Die Anzahl der Explosionen schwankte je nach dem Kraftverbrauch zwischen 40 und 80 in der Minute.

Die verbrauchte Betriebskraft konnte in jedem Augenblick ziemlich annähernd genau nach der Anzahl der Explosionen bemessen werden, doch wurde zur Vermeidung von Fehlern nach jeder Lichtmessung die verbrauchte Arbeit direct gemessen, so dass die Resultate, welche sich auf den Verbrauch an Kraft beziehen, sicher exact sind.

Die Bestimmung der Lichtstärken erfolgte mit einem Photometer von *Foucault*. Drei Personen beobachteten nacheinander durch das Photometer, und von den drei so erhaltenen Ablesungen wurde nicht das Mittel, sondern die für das elektrische Licht ungünstigste Ablesung notirt.

Die Geschwindigkeit der Maschine beeinflusst natürlich ihren Nutzeffect; man hätte somit ein Interesse daran, diese Geschwindigkeit, wenn man viel Licht will, bedeutend zu erhöhen, man ist aber anderseits hier durch die Grösse des Lichtbogens beschränkt, die mit der Geschwindigkeit zunimmt, und die in der Praxis eine bestimmte Dimension nicht überschreiten darf. Ueberschreitet bei Kohlen von 13 mm Durchmesser die Länge des Lichtbogens 5 mm, so spitzen sich beide Kohlen zu stark zu, die leuchtende Schale der positiven Kohle wird klein und das Licht schwankt in jedem Augenblick.

Vermindert man die Grösse des Lichtbogens durch Anziehen der Feder des Regulators, so wird der äussere Widerstand zu klein und die Maschine unverhältnissmässig warm.

Im Allgemeinen muss man, um unter guten Verhältnissen zu arbeiten, untersuchen, bei welchem Abstand der Kohlen der Lichtbogen erlischt und dann den Regulator auf einen Abstand einstellen, der gleich der Hälfte dieser Distanz ist.

Wie man aus der Tabelle III entnehmen kann, ist die bei 1000 Touren erhaltene Lichtstärke viermal so gross, als bei 700 und zweimal so gross als bei 800 Touren; die verbrauchte Betriebskraft ist per 100 Carcel-Brenner 57,5 kgm bei 700 Touren und 26 kgm bei 1000 Touren.

Tabelle III.

Einfluss der Tourenzahl der Maschine.

Touren-zahl per Minute.	Länge des Kabels. m.	Abstand der Kohlen-spitzen. mm.	Lichtstärke in Carcel-Brennern.		Verbrauchte Betriebskraft in kgm.		Licht-einheiten per Pferde-kraft.
			Horizontal gemessen.	Mittel.	Total.	Per 100 mittlere Licht-einheiten.	
700	100	3	160	320	185	57,81	130
725	100	3	243	486	165	33,95	220
750	100	3	295	590	192	32,54	230
800	100	4	365	730	230	31,65	235
850	100	5	488	976	282	28,89	270
900	100	6	576	1152	330	28,64	260
1000	100	10	646	1292	338	26,16	285

Die in der letzten Tabelle enthaltenen Ziffern sind sehr zufriedenstellend, sie beweisen, dass man 285 Carcel-Brenner per Pferdekraft erhalten kann. Dies ist, so viel uns bekannt. das Maximum der bisher im regelmässigen Betrieb erhaltenen Lichtstärke. Wir haben dieses Resultat nur in einem Experiment überschritten, wo wir uns an der Grenze der Länge des Lichtbogens hielten, aber die Lampe verlöschte dabei häufig.[1])

Tabelle IV.

Einfluss des Abstandes der Kohlenspitzen.

Touren-zahl per Minute.	Länge des Kabels. m.	Abstand der Kohlen-spitzen. mm.	Lichtstärke in Carcel-Brennern.		Verbrauchte Betriebskraft in kgm.		Licht-einheiten per Pferde-kraft.
			Horizontal gemessen.	Mittel.	Total.	Per 100 mittlere Licht-einheiten.	
750	100	5	351	702	175	25	301
750	100	4	321	642	186	29	259
750	100	3	295	590	192	32,5	281
750	100	2	256	512	214	41,7	214
750	100	1	225	450	233	51,6	145
750	100	0	140	280	330	117,8	63

[1]) Cfr. p. 251 und ff.

Die Tabelle IV zeigt den Einfluss des Abstandes der Kohlen, wenn die Tourenzahl und die Länge des Kabels constant bleiben. Das Maximum der Lichtintensität entspricht hier dem Minimum an Kraftaufwand, wir haben aber bemerkt, dass bei einem Abstand von 5mm das Licht unruhig war und der Regulator bei der geringsten Schwankung der Tourenzahl auslöschte; das dritte Experiment kann für die Praxis verwendet werden, da das Licht dabei sehr regelmässig war.

Wird der Abstand gleich Null, so erfolgt die Erzeugung des Lichtes nur durch das Weissglühen der Kohlen, und es ist dann eine grosse Betriebskraft erforderlich, um ein relativ schwaches Licht zu erzeugen.

Tabelle V.

Einfluss der Länge des Kabels.

(Der Querschnitt des Kabels war bei allen Versuchen 10 Quadrat-Millimeter.)

Tourenzahl per Minute.	Länge des Kabels. m.	Abstand der Kohlenspitzen. mm.	Lichtstärke in Carcel-Brennern.		Verbrauchte Betriebskraft in kgm.		Lichteinheiten per Pferdekraft.
			Horizontal gemessen.	Mittel.	Total.	Per 100 mittlere Lichteinheiten.	
750	100	4	321	642	186	28,9	267
800	150	5	345	670	230	33,3	225
825	200	5	315	630	232	36,8	178
850	300	5	275	550	225	40,9	183
900	400	5	260	520	241	46,3	162
950	500	5	245	490	230	46,1	160
1000	750	5	236	472	243	51,4	145
1100	1000	5	215	430	256	59,5	126
1350	2000	5	160	320	230	71,8	104

In der Tabelle V finden sich Angaben über den Einfluss der Länge der Leitungsdrähte auf die Lichtstärke und die verbrauchte Betriebskraft. [1])

Es wurde dabei möglichst die totale verbrauchte Betriebs-

---

[1]) Cfr. p. 251 und ff., sowie Abth. XII.

kraft constant erhalten, und um eine zu rasche Abnahme der Lichtstärke zu verhüten, die Tourenzahl der Lichtmaschine gleichzeitig mit der Zunahme der Länge des Kabels erhöht.

Mit einem Kabel von 2000 m Länge, also entsprechend einer Entfernung von Licht und Maschine gleich 1 km, erhielten wir die halbe Lichtstärke wie bei einem Kabel von 100 m Länge, dies ist ein für manche Anwendungen beachtenswerthes Resultat.

Unsere letzten Experimente, Tabelle VI, beziehen sich auf den Einfluss der Betriebsdauer auf die Lichtstärke. Sie zeigen, dass beim Anlassen der Maschine eine etwas grössere Kraft bei etwas mehr Licht erforderlich ist; dass aber nach einem Betrieb von 15 Minuten man sich in ganz normalen Verhältnissen befindet.

Tabelle VI.

Einfluss der Dauer des Betriebes.

Tourenzahl per Minute.	Länge des Kabels. m.	Abstand der Kohlen. mm.	Dauer des Betriebes.	Lichtstärke in Carcel-Brennern. Horizontal gemessen.	Lichtstärke in Carcel-Brennern. Mittel.	Verbrauchte Betriebskraft in kgm. Total.	Verbrauchte Betriebskraft in kgm. Per 100 mittlere Lichteinheiten.	Lichteinheiten per Pferdekraft.
750	100	2	Anlassen	199	398	214	53,7	139
750	100	4	15 Minut.	180	380	183	50,8	147
750	100	4	30 „	175	350	194	55,4	135
750	100	4	1 Stunde	181	362	191	53	142
750	100	4	2 Stunden	191	382	192	50,2	149
750	100	4	3 „	190	380	190	50	150

Die beim Anlassen beobachtete Differenz erklärt sich aus dem Zustand der Maschine. Die Drähte der Elektromagnete und der Spulen sind kalt und ihr Leitungswiderstand geringer, in Folge dessen auch eine stärkere Induction; nach einiger Zeit erreicht aber die Erwärmung ihr Maximum und die Lichtstärke nimmt dann wieder ein wenig zu.

Im Allgemeinen befindet man sich bei der hier experimentirten Maschine dann unter ausgezeichneten Bedingungen, wenn man bei einer Kabellänge von 100m dem Lichtbogen die Länge von 3mm ertheilt. Man erhält dann als Mittel des zerstreuten Lichtes 590 Carcel-Brenner mit einem Kraftaufwand von 192kgm (2,55 Pferdekraft); dieses entspricht 25kgm per 100 Carcel-Brenner per Pferdekraft.

Die Versuche beweisen eine fortwährende Vervollkommnung der *Gramme*'schen Maschinen und zeigen, dass nunmehr die per 100 Carcel-Brenner verbrauchte Kraft unter günstigen Umständen nur 25kgm beträgt, während sie früher im Minimum 31kgm betrug.

Wie sehr die *Gramme*'schen Maschinen an Güte gewonnen haben, geht auch aus den beiden folgenden Berichten hervor, welche sich vornehmlich auf Maschinen von *Gramme* und *Siemens* beziehen.

72. Vergleichende Versuche mit verschiedenen Lichtmaschinen. Als man im Jahre 1877 in England beim Lizard-Leuchtthurme vom Oel zur Elektricität überzugehen entschlossen war, liess das Board of Trade (Harbour-Department) eine Reihe vergleichender Versuche mit verschiedenen Lichtmaschinen anstellen, über welche im Jahre darauf der Corporation of Trinity House, London, umfassende Berichte[1]) von *John Tyndall* und *James N. Douglass*, dem Oberingenieur der Corporation, erstattet wurden.

Den vergleichenden Versuchen wurden unterworfen:

1) *Holmes'* magnet-elektrische Maschinen (S. 67) mit alternirendem Strome,
2) eine Alliance-Maschine (p. 61), ebenfalls mit Wechselströmen,
3) *Gramme*'sche Maschine einzeln,

[1]) Extract from Report of Trinity House, London (s. S. 000). Auszug hieraus in *Dingler's* Polyt. Journal, 1878, Bd. 227, S. 201.

4) zwei zusammengekuppelte *Gramme*'sche Maschinen,

5) *Siemens*' grosse Maschine,

6) *Siemens*' kleine Maschine,

die drei letzteren waren dynamo-elektrische Maschinen mit gleichgerichtetem Strome. (Vergl. §. 43.)

Die Maschine *Holmes* ist seit 1858 in South Foreland, seit 1862 auf dem Leuchtthurme von Dungeness, so wie auf mehreren anderen Leuchtthürmen Englands, Frankreichs, Russlands, Oesterreichs, Schwedens und im Suez-Canal in Gebrauch.

Die *Siemens*'schen Maschinen waren von *Siemens Brothers* in London, dem Zweiggeschäfte der Berliner Firma, geliefert worden; die *Gramme*'schen Maschinen stammten aus der British Telegraph Manufactory in London (Director: *Robert Sabine*); die Alliance-Maschine befand sich wie die Maschine *Holmes* auf den South Foreland Leuchtthürmen in Gebrauch; letztere sind zwei Thürme, ein niedriger und ein hoher.

Nach einigen Vorversuchen begannen die Arbeiten der aus 6 Mitgliedern bestehenden Commission am 21. November 1876, wo dieselbe auf dem Dampfer Galatea von Dover auslief und in der Entfernung von 18,5km von South Foreland und von 15,25km von Dungeness vor Anker ging. Abends zwischen 8 und 11 Uhr wurden zwei Versuchsreihen in folgender Ordnung aufgestellt:

	Hoher Leuchtthurm.		Niedriger Leuchtthurm.
1.	*Holmes*' Maschine	verglichen mit	*Siemens*' Maschine Nr. 1 (gr.)
2.	do. „	„ „	do. „ „ 2 (kl.)
3.	do. „	„ „	*Gramme's* „
4.	do. „	„ „	do. „
5.	*Gramme's* „	„ „	*Siemens*' „ Nr. 1.
6.	*Siemens*' „ Nr. 1 (gr.)	„ „	*Gramme's* „
7.	*Gramme's* „	„ „	*Siemens*' „ Nr. 2.
8.	*Siemens*' „ Nr. 2 (kl.)	„ „	*Gramme's* „

Jeder Versuch dauerte 10 Minuten. Am folgenden Tage

besichtigte die Commission auf den Thürmen die im Gange befindlichen Maschinen, worauf Abends noch zwei Reihen von Versuchen von anderen Puncten der See aus aufgenommen wurden.

Nach diesen Versuchen stellte *Tyndall* die kleine *Siemens*'sche Maschine der viel theueren von *Gramme* in der Lichtwirkung gleich; selbst die grössere *Siemens*'sche Maschine, welche ein bedeutend stärkeres Licht gab, war nicht so theuer als die *Gramme*'sche Maschine, und *Tyndall* schätzt ihr Licht etwa dem der beiden vereinigten *Gramme*'schen Maschinen gleich. Da durch diese Vereinigung die Lichtstärke bedeutend wuchs, wurde im Januar 1877 auch von *Siemens* noch eine kleine Maschine gestellt, damit die beiden kleinen Maschinen von *Gramme* und *Siemens* in ihrer Kuppelung neben einander verglichen werden könnten, weil die vorgängigen Versuche es vermuthen liessen, dass bei einer dem Durchgange des Lichtes ungünstigen Beschaffenheit der Atmosphäre die Benutzung zweier gekuppelten kleinen Maschinen für Leuchtthürme geeigneter sein werde als die einer einzigen grossen Maschine.

Am 17. Januar waren die Vorbereitungen zu neuen Versuchen bei South Foreland vollendet und inzwischen auch vorläufige Messungen der Lichtstärken und des Kraftverbrauches der Maschinen gemacht. Bei dem Photometriren wurde die Flamme der sechsdochtigen, gereinigtes Rüböl brennenden Lampe des Trinity House als Maass benutzt. Dieselbe wurde 30,5 m von der elektrischen Lampe aufgestellt und zu den Messungen ein *Bunsen*'scher Photometer benutzt. Die Maasslampe wurde thunlichst auf der Lichtstärke von 722 englischen Normalkerzen (S. 296) erhalten und ihre Stärke von Zeit zu Zeit durch Kerzen-Messungen controlirt. Die mächtige Flamme der sechsdochtigen Lampe erwies sich als sehr praktisch und trug durch ihr weisses Licht gegenüber der englischen Kerze oder der französischen Carcel-Lampe viel

zur Erleichterung und zur grösseren Sicherheit der Messungen bei.

Bei den bei South Foreland und Souther Point benutzten magnet-elektrischen Maschinen mit Wechselströmen werden die beiden Kohlenspitzen gleichmässig verbrannt und beide behalten die in Fig. 128 abgebildete Spitzenform; anders ist es bei den dynamo-elektrischen Maschinen von *Siemens* und *Gramme*, wie wir bereits S. 302 u. ff. näher erörtert haben. Um nun ein Maximum des Lichtes von den Kohlenspitzen nach einer und derselben Seite hin zu erhalten, werden dieselben bei den Leuchtthurmlampen gewöhnlich so gestellt, dass die Achse der unteren Spitze nahezu in derselben Verticalen mit der vorderen Fläche der oberen liegt, wie es Fig. 130 zeigt. Dabei wird ein verdichteter Strahl in einer Richtung ausgesendet, d. h. die von dem elektrischen Lichtbogen ausgehenden Strahlen werden durch geeignete Linsen- und Prismengürtel so gebrochen, dass das gesammte Licht scheibenförmig in einer und derselben Horizontalebene ausgestrahlt wird.

Beim Messen der Lichtstärken in Kerzen gibt *Douglass* stets die mittlere in der Richtung nach dem Photometer erhaltene Stärke, und zwar standen bei der *Alliance*- und der *Holmes*-Maschine die Kohlen mit den Achsen in derselben Verticalen, für die *Siemens*- und *Gramme*-Maschine dagegen stand die vordere Seitenfläche der oberen Kohle nahezu über die Mitte der unteren Kohle; die Verhältnisse waren also für die ersteren Maschinen weit ungünstiger als für die letzteren.

Wenn man der Ansicht von *Douglass* beitritt, dass man die Summe der Intensitäten des nach vorne und nach den beiden Seiten ausgehenden Lichtes als Lichtwerth für die Leuchtthurm-Beleuchtung annehmen und dagegen das rückwärtige Licht vernachlässigen könne, so wäre dieses Mittel nach S. 304 (287 + 116 + 116 : 3 = 173). Bei der Ver-

gleichung der Lichter, welche von den genannten zwei Systemen Lichtmaschinen erzeugt und in den elektrischen Lampen mit verschiedener Kohlenstellung gemessen werden, muss daher eine Reduction des grössern Lichtes im Verhältnisse von 287 : 173 oder um 60 % vorgenommen werden.

Bei den Versuchen am 18. Januar 1877 wurden von jeder Maschine während der Bestimmung der Lichtstärke gleichzeitig Indicator-Diagramme aufgenommen, um daraus die verbrauchte Arbeitsleistung zu bestimmen. Der mittlere Werth der gemessenen Lichtstärke war (ohne die noch vorzunehmende Reduction) bei

	Im verdichteten Lichte. Engl. Normalkerzen.	Im zerstreuten Lichte. Engl. Normalkerzen.
1) *Holmes*-Maschine....	1494	1494,
2) do. „	2721	2721,
3) *Alliance*- „	1953	1953,
4) *Gramme*- „	5333	3215,
5) do. „	9126	5501.

Am 19. Januar wurden die *Siemens*'schen Maschinen allein nur gegen *Gramme* und *Holmes* versucht; es ergab sich für

	Im verdichteten Lichte. Engl. Normalkerzen.	Im zerstreuten Lichte. Engl. Normalkerzen.
Nr. 1, *Siemens*-Maschine	14 573	8784,
Nr. 2, do. „	5 920	3568.

Es verhielt sich die Lichtstärke von einer *Gramme*-Maschine zu der von Nr. 58 (kleinen) Maschine von *Siemens* wie 100 zu 100,6; 1 *Holmes* zu Nr. 58 *Siemens* wie 100 zu 384; in beiden Fällen wurden die Ergebnisse durch Umwechseln der Leitungsdrähte und Lampen geprüft.

Am 20. Januar liess man die *Siemens*-Maschine Nr. 58 mit voller und auch mit halber Geschwindigkeit laufen, aber das Licht war in letzterm Falle so unbeständig, dass es nicht genau gemessen werden konnte. Die relativen Lichtstärken ergaben sich wie folgt:

1 *Gramme* gegen Nr. 58 *Siemens*..........wie 100:116.
1 *Holmes* „ „ 1 *Siemens*.......... „ 100:557.
1 do. „ beide *Gramme*-Maschinen „ 100:663.

Am 25. Januar fanden noch einige Vorversuche mit der zweiten kleinen *Siemens*-Maschine statt; am 26. Januar wurde das Verhältniss der Lichtstärken für *Siemens* Nr. 58 und 68 ermittelt; dasselbe war wie 100:109,5. In der folgenden Nacht begannen dann die Hauptversuche und dauerten Tag für Tag bis zum 6. Februar, und wieder vom 6. März bis 6. April Morgens. Dieselben beschäftigten sich fast ausschliesslich mit Vergleichen zwischen den Maschinen *Gramme* und *Siemens*, und der genannte Report etc. enthält alle Resultate bezüglich der Lichtstärke, des Kraftverbrauches der Maschinen, des Verbrauches an Kohlenstäbchen, der Erhitzung und des Ganges der Maschinen, der Tourenzahlen etc.

Unter Anderm wurde auch der Verlust an Licht gemessen, welchen jede der Maschinen *Holmes*, *Gramme* und *Siemens* durch die Leitung des Stromes aus dem Maschinenraum zur Lampe auf dem hohen und dem niedrigen Leuchtthurme, d. h. auf eine Entfernung von bezw. 211,7 m und 180,6 m erlitt. Es waren vorhanden zwei dünne Kabel aus je sieben Kupferdrähten Nr. 14 (der Birminghamer Drahtlehre) für eine einzelne *Holmes*-Maschine, und ein dickeres zum Gebrauche für zwei Maschinen, aus 19 Kupferdrähten Nr. 16. Bei den Versuchen mussten die beiden dünnen Kabel verbunden werden, um den Strom von der Maschine im Maschinenraume durch beide Leuchtthürme nach der Lampe im Maschinenraume zu leiten; die Länge der Leitung war also 392,6 m; der Lichtverlust betrug bei

der *Holmes*-Maschine................29,8 %,
„ *Gramme*- „ ....58,6 „
„ *Siemens*- „ ....80,4 „

Die verhältnissmässigen Verluste für jeden Leuchtthurm

einzeln würden daher entsprechend den Verhältnissen der Leitungen (392,2 : 211,7 und 392,2 : 180,6) sein:

	Hoher Leuchtthurm.	Niedriger Leuchtthurm.
für die *Holmes*-Maschine	16,1 %,	13,7 %,
„ „ *Gramme*- „	31,3 „	27,0 „
„ „ *Siemens*- „	43,4 „	37,0 „

Die Versuche wurden wiederholt mit einer *Gramme*'schen Maschine, jedoch die beiden dünneren Kabel zu einem einzigen verbunden und dieses an das dicke zu einer einzigen Leitung von 392,2 m Länge angesetzt. Der Lichtverlust betrug für ein solches Kabel 46,3 % oder 12,3 % weniger als für das dünne Kabel. Zu bemerken ist noch, dass die *Holmes*-Maschinen für die beiden Fälle, dass die Länge der Leitung 211,7 m und 180,6 m betrug, verschieden gebaut waren.

Am 6. März wurden die Messungen fortgesetzt, nachdem die Collector-Scheiben und die Bürsten in den *Siemens*'schen Maschinen durch neue ersetzt worden waren; die Licht-Intensitäten betrugen

bei Nr. 58 *Siemens*-Maschine	4 446	Normalkerzen,
„ „ 68 do. „	6 563	„
für beide Maschinen zusammen ..	11 009	Normalkerzen,
Nr. 58 und 68 zusammengekoppelt ..	13 179	„

Die beiden vereinten Maschinen gaben also 19,7 % Licht mehr als beide zusammen, jede einzeln genommen. Ferner lieferte die *Siemens*-Maschine Nr. 68

	engl. Normalkerzen
1) wenn die Kohlenachsen in derselben Verticalen lagen (Fig. 129)	2021
2) wenn die Achse der unteren Kohle in der Ebene der Vorderfläche der oberen Kohle lag (Fig. 130), beim Vorderstrahl	5804
3) desgl. 90° von Nr. 2, beim Seitenstrahl	2346
4) desgl. 180° von Nr. 2, beim Rückstrahl .	772

Am 7. März ergaben Nr. 58 und 68 *(Siemens)* nach Reinigung der Collectorscheibe bezw. 5611 und 7044 Normalkerzen im verdichteten Lichte.

Die *Holmes*- und die *Alliance*-Maschine verloren durch Abschwächung des Magnetismus der Stahlmagnete seit ihrer Aufstellung bei South Foreland im Jahre 1872 beträchtlich an Strom- und Lichtstärke. Beide Verluste stehen nahezu in demselben Verhältnisse und betragen bei der *Holmes*-Maschine etwa 22, bei der *Alliance*-Maschine etwa 10 %.

Am 17. April untersuchte *Douglass* nochmals die *Gramme*'sche und die *Siemens*'sche Maschine; während die erstere eine starke Abnutzung der Collectoren zeigte, befand sich die letztere in sehr gutem Zustande.

Siemens Brothers hatten mit den Maschinen zur Verwendung bei den Versuchen ein vom Maschinenraume bis zum hohen Leuchtthurme reichendes stärkeres Kabel, als die von South Foreland waren, hergegeben. Das Kabel war 427m lang und aus 19 gut isolirten Kupferdrähten Nr. 16 gebildet. Es wurde in zwei Längen von je 213,5m geschnitten und im Maschinenraume auf zwei Rollen gewickelt. Die Ströme der *Siemens*-Maschinen Nr. 58 und 68 wurden einzeln und vereint durch dasselbe zu der elektrischen Lampe geführt, welche im Maschinenraume und 30,5m von der sechsdochtigen Oellampe entfernt stand; der kurze Stromweg zur Lampe war durch ein 6,7m langes dünnes Kabel mit sieben Kupferdrähten Nr. 13 hergestellt. Es betrug der Verlust bei Nr. 58 nur 24, bei Nr. 68 nur 23 und bei beiden vereint nur 35 % vom ganzen Lichte, während er am 2. Februar bei Nr. 58 bei 30,5m Entfernung etwa 43 % betragen haben würde. Am folgenden Tage wurde die *Alliance*-Maschine, 1 und 2 *Holmes*-Maschinen in derselben Weise mit dem dicken Kabel untersucht, und es verlor die *Alliance*-Maschine 69,1, 1 *Holmes*-Maschine 66,1 und 2 *Holmes*-Maschinen 76,5 %. Für diese Maschinen passt also dieses Kabel nicht so gut wie

für die *Siemens*-Maschinen. Uebrigens würden bei geradgestreckten Kabeln die Versuche wahrscheinlich etwas anders ausgefallen sein und sollten desshalb wiederholt werden.

Am Abende dieses Tages begab sich *Douglass* nach Paris zur Besichtigung der von *Sautter*, *Lemonnier & Cie.* gebauten *Gramme*'schen Maschinen. Eine bei 850 Umläufen in der Minute 2,5 Pferdekraft verbrauchende Maschine lieferte in einer *Serrin*'schen Lampe mit Kohlenspitzen von 9,5 qmm im verdichteten Lichte 2500 bis 3000 Kerzen. Die Maschine war etwas kleiner und gedrängter als die bei South Foreland; der Preis ab Paris 2000 ℳ Derselbe erklärt, dass zwei solche Maschinen nicht in Parallelschaltung mit einander arbeiten könnten. Dagegen seien viele solche Maschinen zur Beleuchtung von Werkstätten verkauft, wo sie sich ganz gut bewährten und billiger als Gas wären. Eine grosse Maschine für 13 Pferdekräfte und bis 50 000 Kerzen war verkauft. Die drei kleinen und die Lampen zur Beleuchtung von Werkstätten arbeiteten ganz befriedigend. Der beleuchtete Raum war etwa 46 qm und 9 m hoch. Die drei elektrischen Lampen wurden etwa 6 m über dem Boden aufgehängt und die allgemeine Beleuchtung des Raumes, worin die Arbeiter thätig waren, glich hellem Tageslichte; dunkle Stellen fehlten, alle im Schatten liegenden Stellen wurden von hellem, von den Wänden und dem Boden zurückgeworfenem Lichte angemessen erleuchtet.

Die genannten Fabricanten empfehlen für Leuchtthurmzwecke eine zwischen der grossen und der für Werkstätten bestimmten liegende *Gramme*'sche Maschine, welche für den gewöhnlichen Zustand der Atmosphäre bei 250 Umläufen in der Minute mit 5 Pferdekräften ein Licht von etwa 12 000 bis 15 000 Kerzen liefern soll, für nebliges Wetter etwa 20 000 bis 25 000 Kerzen mit 8 Pferdekräften; Preis ab Paris 4800 ℳ

Name der Maschine.	Preis.	Maasse in mm.			Gewicht.	Kraftverbrauch in Pferdekraft.	Umdrehungen in der Minute.	Lichtstärke in Normalkerzen, engl.		Lichtstärke auf 1 Pferdekraft in Normalkerzen, engl.		Querschnitt der Kohlenspitzen.	Rangnummer.
	ℳ	Länge.	Breite.	Höhe.	kg.			verdichteter Strahl.	zerstreuter Strahl.	verdichteter Strahl.	zerstreuter Strahl.	mm. × mm.	
Holmes	11 000	1499	1321	1575	2607	3,2	400	1 523	1523	476	476	9,5 × 9,5	6
Alliance	9 880	1321	1372	1473	1851	3,6	400	1 953	1953	543	543	9,5 × 9,5	5
Gramme Nr. 1	6 400	787	787	1245	1295	5,3	420	6 663	4016	1257	758	12,7 × 12,7	4
Gramme Nr. 2	6 400	787	787	1245	1295	5,7	420	6 663	4016	1257	758	12,7 × 12,7	4
Siemens, grosse	5 300	1143	737	356	592	9,8	480	14 818	8932	1512	911	17,5 × 17,5	3
Siemens, kleine Nr. 58	2 000	660	737	254	191	3,5	850	5 539	3339	1582	954	12,7 × 12,7	2
Siemens, kleine Nr. 68	2 000	660	737	254	191	3,3	850	6 864	4138	2080	1254	12,7 × 12,7	1
Zusammen:													
2 *Holmes*	22 200	2997	1321	1575	5214	6,5	400	2 811	2811	432	432	12,7 × 12,7	—
2 *Gramme*	12 800	1575	787	1245	2591	10,5	420	11 396	6869	1085	654	17,5 × 17,5	—
2 *Siemens* (Nr. 58 u. 68)	4 000	1321	737	254	381	6,6	850	14 134	8520	2141	1291	17,5 × 17,5	—

Douglass hielt sich durch den Besuch der Fabrik überzeugt, dass die *Gramme*'schen Maschinen die *Siemens*'schen in der Leistung nicht übertreffen, während sie doch theurer und minder einfach sind; daher empfahl er die zuletzt bei South Foreland geprüfte *Siemens*'sche Maschine zur Anschaffung für die Lizard-Leuchtthürme, und *Tyndall* schloss sich dieser Empfehlung an.

In der vorstehenden Tabelle sind die wichtigeren Resultate der im Vorstehenden besprochenen Beobachtungen übersichtlich zusammengestellt.

Konnte die englische Commission des Jahres 1877 ihr Urtheil dahin abgeben, dass die *Siemens*-Maschinen diejenigen *Gramme's* Modell 1873 übertrafen, so musste eine andere in den Jahren 1879/1880 gebildete englische Commission der Militär-Ingenieurschule in Chatham die im §. 36 behauptete Vervollkommnung der *Gramme*'schen Maschinen unbedingt bestätigen. In Folge der steigenden Wichtigkeit der neueren elektrischen Lichtapparate für militärische Zwecke sah sich nämlich das englische Kriegsministerium veranlasst, die Frage aufzuwerfen, welche der bis jetzt vorliegenden Gesammteinrichtungen am besten den militärischen Bedürfnissen entspreche, und beauftragte daher die genannte Schule, eine grössere Anzahl bezüglicher Apparate eingehenden Versuchen zu unterziehen. Dieselben gewinnen besonders dadurch an Werth, dass ein ähnlich umfangreiches Material noch Niemanden zu Gebote stand; ausserdem sind die schliesslich gewonnenen Ergebnisse einer sehr bedeutenden Zahl von Beobachtungen entnommen.

Eine Wiedergabe des Berichtes an dieser Stelle ist aus mehrfachen Gründen nicht möglich; selbst die elektrotechnische Zeitschrift, 1881, p. 67, bringt des grossen Umfanges des Berichtes wegen nur einen Auszug, welchem wir die p. 161 und 196 angeführten Urtheile bereits entnommen haben und nunmehr die folgenden Angaben entnehmen:

Mittelwerthe der Stromstärken, elektromotorischen Kräfte, der gesammten und der Nutzarbeit, der Lichtstärken, Kraftverbrauch und Preise der versuchten Stromerzeuger.

Stromerzeuger.	Tourenzahl.	Stromstärke. Weber.	Elektromotorische Kraft. Volts.	Kraftverbrauch in Pferdestärken.	Procentsatz der im Stromkreise gewonnenen elektrischen Arbeit.	Geleistete Nutzarbeit im Lichtbogen in Procenten.	Lichtstärke in Normalkerzen.	Preis in Pfund Sterling.	Bemerkungen.
Zwei *Siemens*, mittlerer Grösse, neben einander geschaltet	680	83,9	79,55	13,4	73 [1]	39,49	19 140	244	Die betreffenden Lichtmessungen erfolgten mit geneigten Kohlenstäben.
Gramme, Modell *D*	500	93,78	88,72	15,1	89	47,79	27 500	360	
" " "	475	91,29	83,77	12,7	88	46,37	22 500	360	
" " *C*	1200	81,22	69,9	9,52	85	54,48	19 500	240	
Zwei *Gramme*, Modell *A*, neben einander geschaltet.	875	68,8	88,7	9,55	88	41,71	18 300	160	
Wilde, Marine-Modell	500	—	—	6,50	—	—	5 700	450	Gesammtlicht zweier Lampen mit Reflectoren.

[1]) Es wurde durch andere Experimentatoren mit Stromerzeugern derselben Gattung ein höherer Procentsatz erzielt.

Reduciren wir die angegebenen mittleren Lichtstärken auf die Krafteinheit, so finden wir:

	Lichtstärke auf 1 Pferdekraft
zwei *Siemens* neben einander eingeschaltet.	1428
Gramme, Modell *D*	1821
„ „ *C*	2048
zwei *Gramme* neben einander eingeschaltet.	1916
Wilde	877

Es ist hiernach die auf die Krafteinheit gewonnene Lichtmenge bei den zwei *Siemens*-Maschinen um 31 % kleiner wie bei *Gramme C*, während sich die Procentsätze der von beiden Maschinen im Stromkreise geleisteten Arbeit nur um 14 % unterscheiden.

Erstreckten sich die Versuche der englischen Commission im wesentlichen auf die Maschinen *Gramme* und *Siemens*, so unterwarfen americanische Commissionen neben diesen auch solche Lichtmaschinen einer eingehenden Prüfung, welche in der letzten Zeit vielfach in die Praxis eingeführt wurden und nach dem Urtheile competenter Fachmänner die Beachtung aller Elektrotechniker verdienen. Eine von dem Franklin-Institute ernannte Commission untersuchte neben einer *Gramme*-Maschine die in den §§. 28 und 48 beschriebenen Maschinen von *Brush* und *Wallace Farmer* und berichtete über ihre Versuche im Journal der genannten Gesellschaft 1878, Bd. 105, S. 289 u. 361;[1]) wir unterlassen jedoch auch nur auszugsweise zu berichten, da die *Gramme*'sche Maschine von der Construction Modell 73 war, und entnehmen dem Schlussurtheile nur folgende Stellen:

1) Die *Gramme*'sche Maschine ist sehr ökonomisch hinsichtlich der Umsetzung der Kraft in elektrischen Strom; Verlust durch Reibung und Localwirkung ist am kleinsten, da die Geschwindigkeit verhältnissmässig

[1]) Vgl. auch *Dingler's* Polyt. Journal, Bd. 230, p. 27.

klein ist. Bei normal erhaltenem Widerstande im Lichtbogen ist die Erwärmung der Maschine gering und am Stromsammler treten keine Funken auf.

2) Nach ihr folgt die grosse *Brush*-Maschine im Wirkungsgrade; bei ihrer grossen Geschwindigkeit aber ist der Verlust durch Reibung verhältnissmässig grösser. Dieser Verlust wird nahezu ausgeglichen dadurch, dass diese Maschine mit einem gegen den inneren grossen äusseren Widerstand arbeitet, was auch gegen die Erwärmung der Maschine schützt.

3) Nach dem Wirkungsgrade die dritte ist die kleine *Brush*-Maschine; sie eignet sich ganz vortrefflich zur Erzeugung starker Ströme; die Erwärmung ist nicht beträchtlich.

4) Die *Wallace-Farmer*-Maschine gibt nicht so viel Arbeit wieder als die anderen Maschinen, obgleich sie grosse Kraft in einem kleinen Raume nutzbar macht. Bei ihr sind die localen Wirkungen beträchtlich.

Eine andere americanische Commission, welcher Prof. *Morton* präsidirte, untersuchte Maschinen von *Maxim*, §. 46, *Siemens*, §. 43, *Weston*, §. 45, und *Brush*, §. 28, welche in Bezug auf Grösse und allgemeine Anordnungen sehr ähnlich sind und so ziemlich als parallele Arten derselben Construction betrachtet werden können.

Morton berichtete über die mit den genannten Maschinen in Verbindung mit verschiedenen Lampen angestellten Versuche,[1] deren einer nicht unbedeutenden Anzahl von Beobachtungen entnommenen Ergebnisse in folgender Tabelle zusammengestellt sind:

[1] Reports on The Topophone and The Electric Light by Professor *Henry Morton*, Washington, 1880.

Maschine.	Lampe.	Lichtstärke in Kerzen.	Kraftverbrauch in Pferdekräften.	Lichtstärke auf eine Pferdekraft.
Maxim (kleine Maschine)	*Maxim*	3297	5,483	729
Maxim	*Hand-lamp*	3930	5,585	704
Siemens	*Siemens*	4651	4,863	956
Siemens	*Maxim*	4548	4,742	959
Weston	*Hand-lamp*	8585	4,769	1800
Weston	*Maxim*	7787	4,683	1663
Weston	*Siemens*	7262	5,056	1436
Weston	*Weston*	6063	4,552	1332
Maxim (grosse Maschine)	*Maxim*	7524	7,400	1017
Brush	*Brush*	4365	2,8467	1533
Brush	*Siemens*	3532	2,9573	1194

wonach die in §. 45 bereits gerühmte Maschine die beste der untersuchten Maschinen ist.

VIII. Abtheilung.

Die elektrischen Lampen mit Lichtbogen
(zur Verwendung bei Einzellichtern).

Wenn man daran denkt, das elektrische Licht zu Beleuchtungszwecken zu verwenden, drängt sich als erstes Erforderniss eine Vorrichtung auf, durch welche die Kohlenstäbe, zwischen denen der Lichtbogen sich bildet, in demselben Maasse einander genähert werden, wie sie durch die Hitze desselben abbrennen. Zur Entstehung und Erhaltung dieses Lichtbogens ist jedoch dreierlei erforderlich: 1) dass sich die Kohlenspitzen beim ersten Durchgange des elektrischen Stromes berühren; 2) dass sie sich, nachdem sie durch den Strom glühend geworden sind, von einander entfernen, und 3) dass diese Entfernung die richtige, von der Stärke des Stromes abhängige Grösse habe und unverändert beibehalte. Wenn dann noch verlangt wird, dass der Lichtbogen auch dieselbe Lage im Raume behalten soll, z. B. dass er stets im Brennpuncte oder im Mittelpuncte eines Hohlspiegels, einer Linse u. s. w. bleibe, so kommt damit noch eine vierte Anforderung an die Regulir-Vorrichtung hinzu. Endlich verlangt man von einem solchen Apparate, dass er das Licht wenigstens 4 Stunden unterhalte, ohne dass es nöthig wird, neue Kohlen einzusetzen, und daher bei einem Kohlenverbrauche von 6—8 cm per Stunde eine Brennlänge von mindestens 30 cm besitze; ferner dass er selbst in weiten Grenzen sich auf die Stromstärke schnell und leicht ein-

reguliren lasse, dass er gegen das Eindringen von Staub vollständig geschützt, dass die gesammte Construction möglichst einfach, die Handhabung aller Theile leicht und der Preis niedrig sei.

Je vollkommener die genannten Arbeiten von der Lampe ausgeführt werden, desto gleichmässiger und ruhiger ist das erzeugte Licht, und es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dass alle zu dieser Regulirung erforderlichen Bewegungen ohne das Zuthun der menschlichen Hand ausschliesslich durch die Mechanismen der Lampe unter Mitwirkung des elektrischen Stromes ausgeführt werden müssen.

Wir besitzen heute eine grosse Zahl von elektrischen Lampen, welche den genannten Anforderungen mehr oder minder entsprechen und unter diesen finden sich wahre Meisterwerke der Mechanik. Es kann jedoch unsere Aufgabe nicht sein, in eine nähere Beschreibung derselben einzugehen; noch weniger Interesse hätte es, die einzelnen Constructeure namhaft zu machen oder die Principien zu erläutern, welche den verschiedenen Constructionen zu Grunde liegen. Indem wir daher in dieser Beziehung auf die Schriften von *Fontaine*, *Du Moncel* u. A. verweisen, welche diesen Gegenstand sehr ausführlich behandeln, beschränken wir uns darauf, in dem Nachfolgenden bloss diejenigen elektrischen Lampen eingehend zu behandeln, welche sich vor allen anderen einer grossen Verbreitung erfreuen und gegenwärtig fast ausschliesslich zur praktischen Verwendung kommen.

73. Die elektrische Lampe von Foucault und Duboscq. Die elektrische Lampe von *Foucault*, welche noch heute in der berühmten mechanischen Werkstätte von *Duboscq* zu Paris in vorzüglicher Güte ausgeführt wird, kann als derjenige Apparat betrachtet werden, welcher die Aufgabe der selbstthätigen Regulirung des elektrischen Lichtes zuerst praktisch gelöst hat und zwar dadurch, dass der das Licht

erzeugende Strom um einen Elektromagnet geleitet wird und durch das Ab- und Zunehmen seiner Intensität eine entsprechende Veränderung in der Anziehungskraft auf den Anker hervorruft.

Fig. 132.

Die el. Lampe von Foucault u. Duboscq.

Der Apparat, der in Figur 132 in verticalem Durchschnitte, in Fig. 133 (S. 354) in perspectivischer Ansicht abgebildet ist, ist ein Meisterwerk der Mechanik und, obgleich anfänglich nur für die Regulirung von Batterieströmen und vorzugsweise für die Anwendung des elektrischen Lichtes zu wissenschaftlichen Zwecken, zu Vorlesungsversuchen und zu Theater-Effecten construirt, doch von so allgemeiner Anwendung, dass er unter allen Instrumenten ähnlicher Art wohl die grösste Verbreitung gefunden hat.

Der elektrische Strom tritt bei der + Klemme C (Fig. 132) in die Lampe ein, gelangt von hier zu dem Umwindungsdrahte des Elektromagnets E, tritt dann in den ganzen

metallischen Körper *B B* des Apparates und dadurch in den Träger *D* der positiven (unteren) Kohle. Da die —Klemme in metallischer Verbindung steht mit dem isolirten Träger *H* der negativen (oberen) Kohle, so ist klar, dass die Leitung geschlossen ist und der Strom circulirt, sobald die beiden Kohlenstäbchen sich berühren oder nur so weit von einander entfernt sind, dass sich der Volta'sche Flammenbogen zwischen ihnen ausbildet.

Um nun das Spiel des ganzen Apparates zu verstehen, haben wir unser Augenmerk wesentlich auf drei besondere Mechanismen zu richten: auf den anziehenden Elektromagnet *E*, auf den durch eine Gegenfeder *R* angezogenen Anker *F* und auf zwei Rädersysteme, welche die Kohlenträger in Bewegung setzen.

Die starke Feder *R* wirkt nicht unmittelbar auf den Anker, sondern zunächst auf das Ende eines um *X* drehbaren Metallstückes, welches auf seiner unteren Seite derartig gekrümmt ist, dass bei seinem Niedergange immer andere dem Drehpunkte *X* näher oder ferner liegende Puncte mit dem Ankerhebel in Berührung kommen. Der von der Feder *R* auf *P* ausgeübte und auf den darunter liegenden Ankerhebel fortgepflanzte Druck greift daher bei dem Niedergange des Ankers denselben in verschiedenen Puncten und folglich mit ungleicher Kraft an. Wenn nun die Stärke des Stromes aus irgend einem Grunde abnimmt, so beginnt die Anziehungskraft des Elektromagnets nachzulassen und die Kraft der Feder *R* fängt an, das Uebergewicht zu bekommen; ihr Druck auf den Ankerhebel entfernt den Anker selbst von dem Elektromagnet, und diese Entfernung erfolgt wegen der Krümmung des obern Hebels *X* und der nur langsam anwachsenden Zugkraft der Feder nicht plötzlich, sondern allmählich; der Anker selbst und die auf ihm befestigte verticale Arretirungs- und Auslösestange *T* machen daher keine plötzlichen Bewegungen, und die Aenderungen

im Lichtbogen erfolgen aus diesem Grunde nicht stossweise, sondern langsam zu- oder abnehmend.

Unter dem Einflusse der beiden Kräfte, der Anziehungskraft des Elektromagnets *E* und der entgegengesetzt wirkenden Kraft der Abreissfeder *R* muss der Anker zwischen zwei Grenzstellungen so zu sagen in der Schwebe bleiben. Diese Stellung des Ankers ist gewissermaassen der Ausdruck der Stromstärke; so lange dieselbe die gewünschte und der erforderlichen Länge des Lichtbogens entsprechende Grösse behält, muss auch der Anker im Gleichgewichte verharren und jedwede Annäherung oder Entfernung der Kohlenspitzen verhindern; sobald aber der Strom zu stark oder zu schwach wird, muss sofort eine Entfernung oder eine Annäherung der Kohlen eintreten. Es wird dieses auf folgende Weise erreicht:

Das auf dem Anker sitzende und mit ihm oscillirende verticale Stäbchen *T* endigt im Innern der Lampe in ein nach beiden Seiten in eine Schneide auslaufendes Plättchen *t*, welches durch seine bald nach rechts, bald nach links gehende Bewegung das eine oder das andere Laufwerk der Lampe frei macht, bezw. arretirt. *L'* ist das Federhaus, durch dessen Federkraft zwei in die Zahnstangen *H* und *D* eingreifende Räder in Bewegung gesetzt werden; da diese Zahnstangen die Träger der Kohlenstäbchen sind und auf entgegengesetzter Seite der Räder liegen, so müssen sich die Kohlenspitzen entweder näher rücken oder von einander entfernen, je nachdem die Räder sich in dem einen oder dem andern Sinne drehen. Die Durchmesser der Räder verhalten sich wie 2 zu 1; dasselbe Verhältniss haben daher auch die Geschwindigkeiten der Zahnstangen und der Kohlenstäbchen selbst. Das Federhaus *L'* überträgt seine Bewegung auf fünf andere Räder, unter denen das letzte *o'* einen sternförmig gestalteten Windfang bildet, welcher durch die rechts liegende Schneide des Stabes *T* arretirt wird, wenn die

Kraft der Feder *R* die Anziehungskraft des Elektromagnets *E* überwindet und den Anker *F* vom Pole entfernt.

Wenn umgekehrt das Stück *T* in Folge des Ankeranzuges nach links geht, wird *o'* frei und damit das ganze unter der Wirkung der Federkraft von *L'* stehende Laufwerk in Bewegung gesetzt; in diesem Falle drehen sich die beiden ersten Zahnräder in einer solchen Richtung, dass dadurch die Kohlenspitzen sich von einander entfernen.

L ist ein zweites Federhaus mit einem Systeme von Rädern, deren letztes der sternartige Windfang *o* ist. Das ganze System dieser Räder wird arretirt, wenn die links liegende Schneide von *t* den Windfang anhält, und dieses geschieht offenbar, wenn der erstere Windfang *o'* eben frei geworden ist. Zwischen diesen beiden Systemen, welche in *o* und *o'* endigen, liegt ein sogenanntes Satelliten-Rad *S*, welches mit den beiden genannten Radsystemen derart im Eingriffe steht, dass es gleichzeitig die Bewegung des einen Laufwerkes frei lässt, wenn es die des andern hemmt. Wird durch den Eingriff von *t* in *o'* der Windflügel *o* frei, so tritt *L* in Thätigkeit; unter der Mitwirkung des Satelliten-Rades *S* erfolgt dann die Drehung der ersten Räder von *L'* in umgekehrter Richtung, als es geschieht, wenn *o* arretirt und *o'* frei wird. Die Kohlenträger *H* und *D* bewegen sich dadurch ebenfalls in der entgegengesetzten Richtung, als es vorhin beschrieben war, und die Kohlenspitzen nähern sich einander.

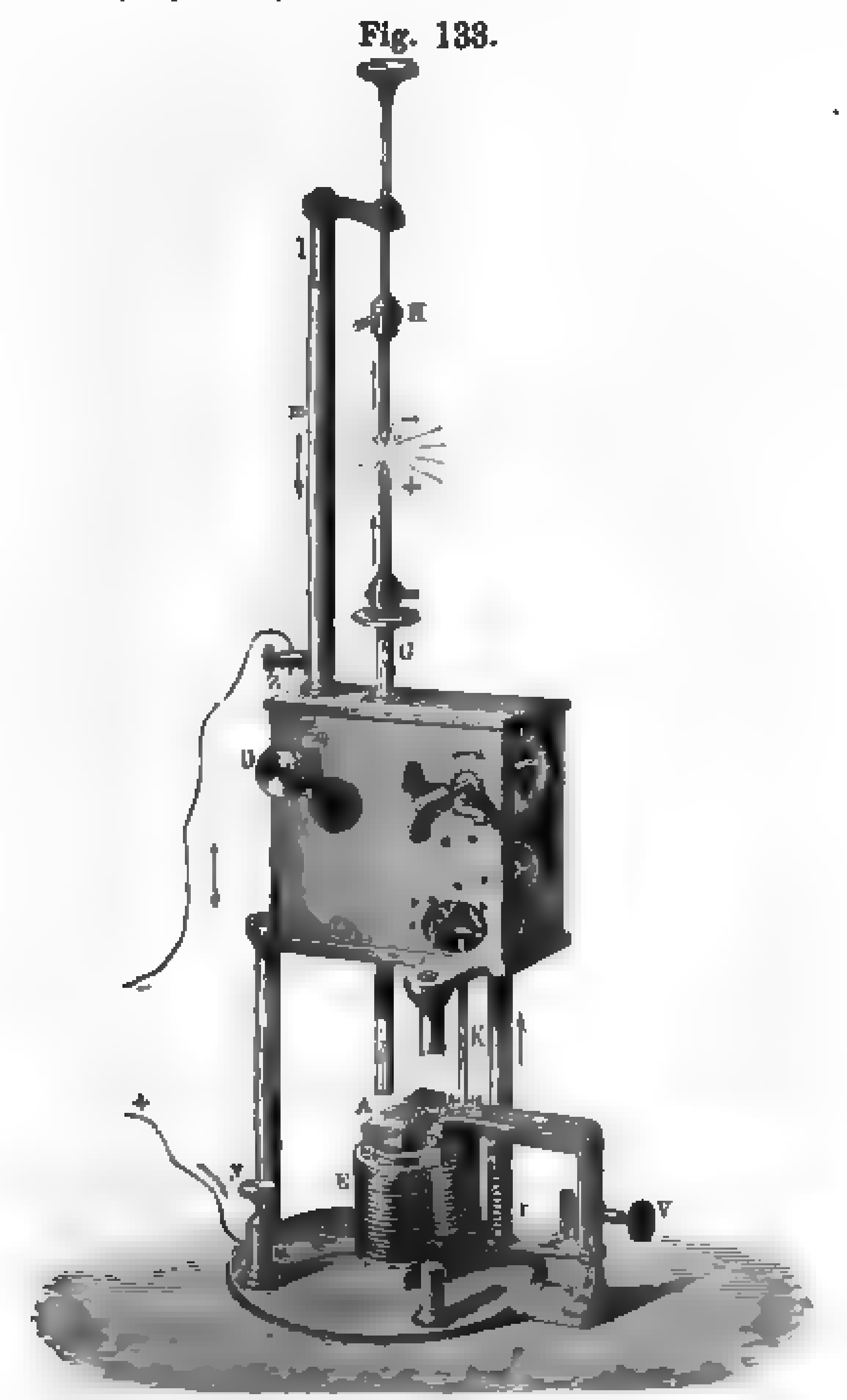
Wenn der Lichtbogen diejenige Länge hat, welche der Stromstärke entspricht und welche man dadurch erhält, dass man durch Anspannen oder Nachlassen der Feder *R* das Gleichgewicht zwischen der Anziehungskraft des Elektromagnets und der Abreisskraft der Feder herstellt, so schwebt der Anker über seinem Pole, der Stab *T* steht vertical und seine beiden Schneiden arretiren die Windflügel *o'* und *o* gleichzeitig.

Durch Abbrennen der Kohlenstäbchen wird der Lichtbogen und der Widerstand im Stromkreise grösser; der Anker wird mit geringerer Kraft von dem Elektromagnet angezogen, aber er wird nicht plötzlich abgerissen, sondern er folgt wegen der Krümmung des Hebels *X* der langsam zunehmenden Wirkung der Abreissfeder, bis er schliesslich so hoch kommt, dass die rechts liegende Schneide *t* in *o'* eingreift und *o* frei macht; das links liegende Räderwerk *L'* setzt sich in Bewegung und die Kohlenspitzen nähern sich einander. Der Strom nimmt dadurch wieder an Stärke zu, die Anziehungskraft des Elektromagnets wächst ebenfalls langsam an, der Anker *F* geht abwärts, der Stab *T* geht nach links, und bald, wenn die Stromstärke eine gewisse Grenze überschreitet, d. h. wenn die Kohlenspitzen sich mehr nähern als es gewünscht wird, verlässt die rechts liegende Schneide von *t* das Flügelrad *o'* und greift in *o* ein. Das links liegende Räderwerk steht still, die Annäherung der Kohlenspitzen hört auf, dagegen setzt sich unter Mitwirkung des Rades *S* das rechts liegende Räderwerk *L* in Bewegung und die Kohlen entfernen sich wieder von einander. Die Regulirung der Feder geschieht durch eine Schraube *V* (Fig. 133) und einen dagegen stossenden Winkelhebel.

Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass die Kohlenstangen *H* und *D* unter dem Einflusse der beiden Räderwerke sowohl sich nähern, als auch sich von einander entfernen, und dass diese Bewegungen immer nur in sehr engen Grenzen erfolgen können, so dass der Lichtbogen, wenn er einmal durch Regulirung der Feder *R* die der Stromstärke angemessene Länge erreicht hat, diese Länge unverändert beibehält. Da ausserdem die Geschwindigkeiten, mit welchen sich die Kohlenstäbchen bewegen, dasselbe Verhältniss haben wie die Grösse ihres Verbrauches, so bleibt der Lichtbogen auch stundenlang genau an derselben Stelle, welche man ihm beim Beginne seines ersten Aufleuchtens angewiesen hat.

Der Apparat hat ausserdem noch zwei Einrichtungen, dass man die Kohlenstäbchen selbst während der Thätigkeit der Lampe mit der Hand verschieben kann. Vermittelst der Schraube *D* (Fig. 133) kann man nämlich die beiden Zahn-

Fig. 133.



Die elektrische Lampe von Foucault und Duboscq.

stangen (*D* und *H* in Figur 132) unabhängig vom Räderwerke auf- und abbewegen, und durch eine auf der entgegengesetzten Seite der Lampe befindliche zweite Schraube ist die obere Zahnstange allein beweglich. Der Experimen-

tirende hat es hierdurch in der Hand, vor der Einführung des Stromes in die Lampe durch Einstellen der beiden Kohlenspitzen dem Lichtbogen in der Lampe eine ganz bestimmte Stelle zu geben, welche in der Regel durch die Linsen oder Prismen des Beleuchtungs-Apparates bedingt ist.

Soll die *Foucault*'sche Lampe bei Wechselströmen gebraucht werden, wobei die Abnutzung der beiden Kohlenspitzen gleich stark ist, so muss die Construction einfach dahin abgeändert werden, dass die beiden Räder, welche die Zahnstangen führen, gleiche Durchmesser haben; die Geschwindigkeit ihrer Bewegung ist dann gleich gross. Es ist leicht, an dem Apparate einen kleinen Mechanismus hinzuzufügen, der es gestattet, eine und dieselbe Lampe ganz nach Belieben für gleichgerichtete oder für wechselnde Ströme zu gebrauchen. Da kein Theil unter dem Einflusse der Schwerkraft in Thätigkeit tritt, so kann die Lampe eben so gut in liegender, als in aufrechter Stellung arbeiten, ein Vorzug, den sie vor manchen ähnlichen Apparaten voraus hat.

74. Die elektrische Lampe von Serrin. Die *Serrin*'sche Lampe war ursprünglich für Batterieströme von gleichbleibender Richtung construirt; es erwies sich jedoch ihre Construction, ohne dass es von *Serrin* beabsichtigt worden war, bei einem gelegentlichen Versuche als eine solche, die auch für Wechselströme geeignet war. Die einzelnen Functionen, welche dieser ebenfalls höchst vollkommene Apparat ausführt, sind der Reihe nach folgende.

Im Zustande der Ruhe, wenn der elektrische Strom noch nicht durch ihn hindurchgeht, bringt er ohne Zuthun der Hand die beiden Kohlenstäbe mit einander in Berührung und steht dann still. Sobald der Strom zu der Lampe geführt oder der Stromkreis, in welchen dieselbe eingeschaltet ist, geschlossen wird, entfernen sich die Kohlenstäbe sofort von einander, so dass der Volta'sche Bogen zwischen ihnen hervorbricht und das elektrische Licht erglänzt. In dem

Maasse, als nun die Kohlen abbrennen und sich weiter von einander entfernen, werden sie durch den Mechanismus der Lampe wieder einander näher gebracht, so dass der Lichtbogen nicht bloss die gehörige Länge, die man nach Maassgabe der Stromstärke erzeugen kann, unverändert beibehält, sondern auch seinen Ort im Raume und seine Lage in Bezug auf die Apparattheile und etwaige Linsenachsen nicht verändert. Wenn das Licht durch den Wind oder aus irgend einer anderen Ursache zufällig erlöschen sollte, so bringt der Apparat die Kohlen sofort wieder mit einander in Berührung, aber nur um den Kreislauf des Stromes wieder zu schliessen; ist dieses geschehen, so trennen sich die Kohlen wieder und lassen den Lichtbogen von Neuem zum Vorschein kommen. Auf diese Weise unterhält die Lampe das elektrische Licht an jeder Stelle, in jeder beliebigen Entfernung von der erzeugenden Maschine und in jeder Höhe, wo man es haben will. Um dasselbe anzuzünden, braucht man nur die magnet- oder die dynamo-elektrische Maschine in Gang zu setzen oder die Batterie, in deren Schliessungsdraht die Lampe eingeschaltet ist, zu schliessen. Um es zu verlöschen, stellt man die Maschine ab oder unterbricht auf irgend eine Art den Strom; an die Lampe selbst braucht man zu diesem Zwecke keine Hand anzulegen.

Der Apparat leistet diese verschiedenen Arbeiten vermittelst zweier mit einander in Verbindung stehender Theile, von denen jedesmal der eine in Thätigkeit tritt, wenn der andere aufhört zu wirken. Der erste Theil besteht aus den beiden vertical stehenden messingenen Kohlenträgern *B C* und *K K* (Figur 134), von denen der eine *B C*, welcher die obere Kohle enthält, mit dem positiven Pole der Maschine oder der Batterie, der andere *K K* durch einige Apparattheile mit dem negativen Pole in Verbindung steht. Beide Kohlenträger sind auf eine noch näher zu beschreibende Weise so mit einander verbunden, dass die

abwärts gehende Bewegung des positiven Trägers zugleich eine aufwärts gehende der negativen Kohle erzeugt und so stets eine Annäherung der beiden Kohlenspitzen zuwege gebracht wird.

Fig. 134.

Die elektrische Lampe von Serrin.

Der andere Theil des Mechanismus, die Balance oder die Schaukel, besteht aus einem nach Art eines Parallelogrammes gelenkartig zusammengefügten Systeme von vier Gliedern *R S U T*, von welchem die eine verticale Seite (links) fest steht und mit den links liegenden Enden des obern und unteren Gliedes bei *R* und *T* gelenkartig verbunden ist, das vierte verticale Glied aber einerseits bei *S* in die obere Schiene beweglich eingefügt, andererseits mit dem Rollenträger *J* fest verbunden ist. Das genannte Parallelogramm ist hiernach in zwei festen Puncten *R T* aufgehängt und kann in kleinen Grenzen auf und ab oscilliren; dasselbe wird durch zwei ent-

sprechend starke Federn, von denen in der Figur nur die vordere sichtbar ist, derart schwebend gehalten, dass die obere und untere Seite nahezu wagerecht liegen.

Dieses auf und ab sich bewegende Gliedersystem, an dessen unterer Seite der ebenfalls wagerecht liegende Anker *A* des Elektromagnets *E* fest aufgehängt ist, hat den Zweck, die Kohlenspitzen zuerst von einander zu trennen, wenn der Strom bei ihrer Berührung in den Apparat eintritt, sodann aber dieselben rechtzeitig wieder einander näher zu bringen, bevor ihre Entfernung durch das Abbrennen so gross wird, dass der Lichtbogen zwischen ihren Spitzen erlöschen müsste.

Die wechselseitige Einwirkung dieser beiden Mechanismen auf einander geschieht durch ein Räderwerk, welches seine Bewegung durch das eigene Gewicht des positiven Kohlenträgers *B* erhält, dagegen seine zeitweilige Hemmung durch einen mit der Balance verbundenen, dreieckig gestalteten Sperrzahn *d* erfährt. Der Kohlenträger *B* bildet auf seinem untern Drittel eine Zahnstange, welche in das oberste Rad *F* des Räderwerks eingreift. Zieht man den Stab *B* aus der Messingröhre *N* in die Höhe, so folgt das im Eingriffe stehende Rad dieser Bewegung, die übrigen Räder aber nehmen an dieser Bewegung keinen Antheil, weil die Achse des zweiten Rades mit einer Sperrvorrichtung versehen ist, welche zwar gestattet, dass sich das erste Rad vor- und rückwärts dreht, dagegen eine Drehung der übrigen Räder nur in der einen Richtung zulässt, welche dem Herabsinken der Kohlenstange *B* entspricht.

Auf der Achse des ersten Rades sitzt eine Rolle *G*, welche sich mit dem Rade dreht und deren Durchmesser nahe halb so gros ist, als der des Rades; auf ihrem Umfange ist eine feine stählerne Cylinderkette *H* befestigt, die über eine kleine Leitrolle *J* läuft und an einem mit dem negativen Kohlenhalter *K* verbundenen, elfenbeinernen Querstück befestigt ist. Sinkt daher die +Kohle *C* um eine bestimmte Strecke

herab, so setzt sich das erste Rad und die Kettenrolle *G* in Bewegung, aber das von der Kette *H* aufwärts gezogene Querstück und die —Kohle *K* gehen nur halb so hoch aufwärts, und da während der Thätigkeit der Lampe die positive Kohle doppelt so schnell abbrennt als die negative, so wird durch diesen ebenso einfachen, als sicher wirkenden Mechanismus der Lichtbogen zwischen den Kohlenspitzen fast genau an derselben Stelle des Raumes erhalten. Man gibt anfänglich den Kohlenstäbchen eine solche Länge, dass die Stelle des Lichtbogens dem Ringe gegenüber liegt, welcher den obern Theil der Messingröhre *N* abschliesst.

Die abwärts gehende Bewegung der positiven Kohle wird dadurch regulirt und gleichförmig gemacht, dass das erste Rad seine Bewegung mit wachsender Geschwindigkeit auf einen in der Figur nicht sichtbaren Windflügel und auf ein aus 8—12 Speichen bestehendes Sternrad *e* überträgt, dessen Zweck wir sogleich näher kennen lernen werden. Zieht man umgekehrt den positiven Kohlenträger *B* in die Höhe, so sinkt die negative Kohle durch das Gewicht ihres Trägers *K* herab, wobei das Räderwerk stehen bleibt.

Von den beiden Federn *r*, welche das schaukelnde Parallelogramm in der Schwebe halten, ist die eine mit ihrem obern Ende an der die Radachsen tragenden Gestellplatte aufgehängt; mit ihrem untern Haken fasst sie die Seite *U* der Balance; die andere Feder liegt auf der entgegengesetzten Seite der Räder; mit dem einen Ende ist sie an dem beweglichen verticalen Stücke der Balance, mit dem andern an einem Winkelhebel *a* befestigt, auf welchen man vermittelst einer aus dem Gehäuse der Lampe hervortretenden Schraube *b* einwirken kann. Durch Vor- oder Rückwärtsdrehen dieser Schraube kann man die Feder an- oder abspannen und dadurch die Entfernung des Ankers *A* von den Polen des Elektromagnets *E* nach der Stromstärke reguliren. Ebenso wird durch Anziehen dieser Schraube und

entsprechendes Anspannen der Feder das Gliedersystem etwas gehoben und dadurch der dreieckige Sperrzahn *d* ausser Eingriff mit dem Sternrade *e* des Räderwerkes gebracht.

So oft dieses geschieht, setzt sich das Räderwerk in Bewegung; der obere Kohlenträger sinkt herab und hebt vermittelst der Gliederkette den untern Träger in die Höhe. Wenn umgekehrt während der Thätigkeit des Apparates der Elektromagnet *E* über die Spannkraft der Feder *r* das Uebergewicht bekommt, zieht er den Anker *A* an und damit die Balance ein wenig herab; der Sperrzahn fällt in die Speichen des Sternrades *e* ein und hemmt damit das Räderwerk.

Der vom positiven Pole des Stromerzeugers kommende Leitungsdraht wird durch eine besondere Klemme mit der Metallmasse der Lampe in Verbindung gesetzt; der Strom gelangt durch den obern Kohlenträger *B* über beide Kohlen, wenn diese sich berühren oder den Flammenbogen zwischen sich bilden, durch den untern isolirten Kohlenträger *K K* und durch eine isolirte gefältete und daher leicht bewegliche Feder *l l* zu dem Elektromagnet, von wo aus er an einer andern isolirten Klemme die Lampe verlässt, um zum negativen Pole des Stromerzeugers überzugehen.

Die erste Wirkung der Lampe beim Schliessen des Stromes ist, wie bereits gesagt, die Anziehung des Ankers *A*. In Folge hiervon wird die Balance herabgezogen, die Kohlenspitzen trennen sich von einander auf eine Entfernung, welche durch die äussere Schraube *b* im Verhältnisse zur Stromstärke angemessen regulirt wird, der Sperrzahn legt sich zwischen die Speichen des Sternrades und arretirt das Räderwerk. In der Hitze des Flammenbogens verbrennen die Kohlen, und zwar nutzt sich die positive zweimal so stark ab als die untere negative, der Flammenbogen wird länger, aber zugleich die Stromstärke wegen des grössern Widerstandes kleiner, die anziehende Kraft des Elektromagnets wird schwächer und die Federn fangen an, die Anziehungs-

kraft des letztern zu überwinden. Geschieht dieses, so heben sie für einen Augenblick und auf einen geringen Betrag die Balance mit der unteren Kohle in die Höhe und bringen damit den Sperrzahn ausser Eingriff; das Räderwerk und der obere Kohlenträger werden dadurch frei, letzterer sinkt mit seinem Kohlenstäbchen durch sein Gewicht herab und die beiden Kohlenspitzen nähern sich einander. Hat der Flammenbogen auf diese Weise seine normale Länge erreicht, so gewinnt in Folge der grösseren Stromstärke der Elektromagnet wieder das Uebergewicht über die Federn der Balance, der Anker wird wieder so weit herabgezogen, bis der Sperrzahn das Räderwerk arretirt und die Bewegung der Kohlenstäbe unterbrochen wird.

Wenn man mit Hülfe der äusseren Schraube die das Parallelogramm tragende Feder anspannt, so entfernt man dadurch den Anker etwas von seinem Elektromagnet; der Strom muss jetzt eine stärkere magnetische Wirkung äussern, wenn die stärkere Federspannung und der grössere Abstand des Ankers vom Elektromagnet überwunden werden soll. In diesem Falle wird der Magnet sofort aufhören, den Anker festzuhalten, wenn durch die Abnutzung der Kohlen die Entfernung ihrer Spitzen nur um ein Geringes grösser wird; der Anker geht dann in die Höhe, der Sperrzahn kommt ausser Eingriff mit dem Sternrade, das Räderwerk wird frei und die Kohlen nähern sich wieder. Wenn dagegen die äussere Regulirschraube die Feder nur wenig anspannt, so erhält der Magnet durch den Ankeranzug den Sperrkegel auch dann noch im Eingriffe, wenn der Flammenbogen sogar eine ziemliche Länge erreicht hat. Das Anziehen oder Nachlassen der Schraube hat daher eine grössere oder eine geringere Länge des Lichtbogens zur Folge und erweist sich als ein ebenso feines, als sicheres Mittel, diese Länge nach der Stromstärke genau abzupassen.

Durch einen leichten Druck mit der Hand auf den untern

Kohlenhalter *K* geht die Balance ein wenig nach unten und der Sperrzahn kommt zum Eingriffe; der Gang des Räderwerks und die Function der Lampe wird dadurch unterbrochen. Will man diesen Zustand der Ruhe zeitweilig erhalten, so schiebt man durch eine geringe Drehung der Hülse *M* einen darauf bei *m* befestigten Stift in den entsprechenden Einschnitt eines Elfenbein-Klötzchens, das in der Figur nicht sichtbar ist; das Räderwerk bleibt dadurch dauernd arretirt.

Die Kohlenstäbchen werden durch Klemmschrauben in den Kohlenhaltern *C* und *K* festgehalten. Letztere ist eine messingene Hülse, welche leicht federnd in die darunter befindliche und mit dem Parallelogramm in Verbindung stehende längere Messingröhre *M* eingesteckt werden kann und stets vertical steht. Die obere Kohle kann durch zwei Gelenke *x* und *y* vermittelst zweier Schrauben sowohl in der durch *B* und *C* gehenden verticalen Ebene nach vorne und hinten, als auch in der darauf senkrechten Ebene nach rechts und links verschoben und dadurch genau vertical über die untere Kohle eingestellt werden.

Der grosse Vorzug, den die *Serrin*'sche Lampe vor manchen andern Apparaten dieser Art besitzt, liegt in dem grossen Gewichte des obern Kohlenhalters, welcher kleinere, unvorhergesehene Widerstände, die sonst störend wirken könnten, leicht überwindet und dadurch dem Räderwerke einen sehr gleichmässigen Gang gibt, ohne jedoch einen Druck der Kohlen gegen einander zu erzeugen, der gross genug wäre, dieselben zu zerbröckeln. Wenn nämlich ein solcher Druck anfängt sich zu entwickeln, so folgt die untere Kohle diesem Druck nach unten sofort und unterbricht die Bewegung.

In der Wirklichkeit zeigt sich die Thätigkeit der Lampe weniger in sichtbaren Entfernungen und Annäherungen der Kohlenstäbe, als mehr in einem beständigen Streben nach

diesen Bewegungen; es ist eine Art von wechselseitigem Ringen nach dem Uebergewichte einerseits zwischen dem Gewichte des Kohlenhalters und dem Räderwerke und andererseits zwischen der Anziehungskraft des Elektromagnets auf den Anker und die Balance, welche das Räderwerk sperrt. Der Lichtbogen wird hierdurch in höchst vollkommener Weise während der Beleuchtung der Kohlen in einer solchen Länge dauernd erhalten, wie er dem Maximum der Stromstärke und damit dem grössten Lichteffecte entspricht.

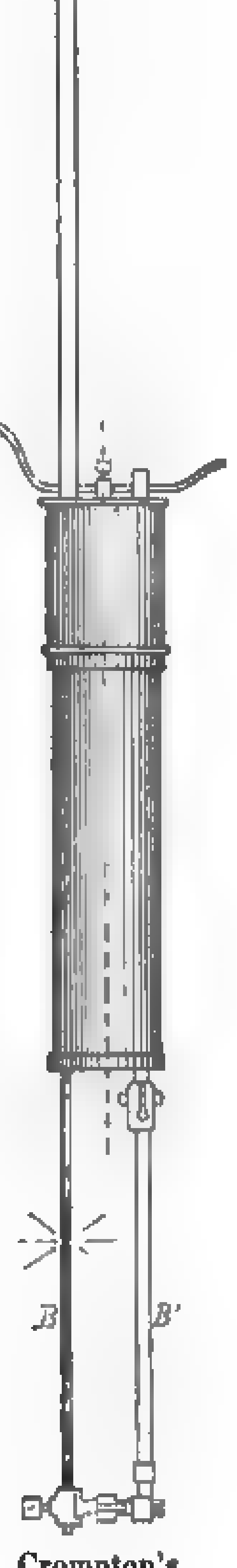
Aber eben diese grosse Empfindlichkeit der Lampe, der Umstand nämlich, dass die kleinsten Wirkungen des Elektromagnets auf den Anker sofort auf den untern Kohlenträger übertragen werden, macht, dass dieser letztere beständig auf und ab zittert, wenn die Kohlenstäbe Unreinigkeiten enthalten. Diese oscillirenden Bewegungen aber verlängern oder verkürzen die Länge des Lichtbogens und wirken verändernd auf den Widerstand des Stromes ein; die weitere Folge hiervon ist dann ein Schwanken in dem Gange der stromerzeugenden Maschine, des Elektromagnets in der Lampe und eine Unbeständigkeit in dem Lichte des Flammenbogens, die oft lästig und unangenehm wirkt. Die Lampe *Serrin's* erfordert daher vor Allem sehr gute Kohlen. Ihre Construction bedingt ausserdem die verticale Stellung der Kohlenhalter; in horizontaler Lage ist sie nicht zu gebrauchen, und selbst eine kleine Neigung wirkt oft störend auf ihren Gang ein. Nur mit chemisch reinen Kohlen und unter dem Einflusse eines ganz constanten Stromes sind Schwankungen in dem Anker des Elektromagnets nur wenig wahrzunehmen; in solchen Fällen ist das Licht der Lampe fast eben so ruhig, wie das einer Oel- oder Gasflamme.

Die *Serrin*'sche Lampe wurde in der letzten Zeit in England vielfach durch die

75. Crompton'sche Lampe verdrängt, welche als eine Vereinfachung der *Serrin*'schen Lampe betrachtet werden kann

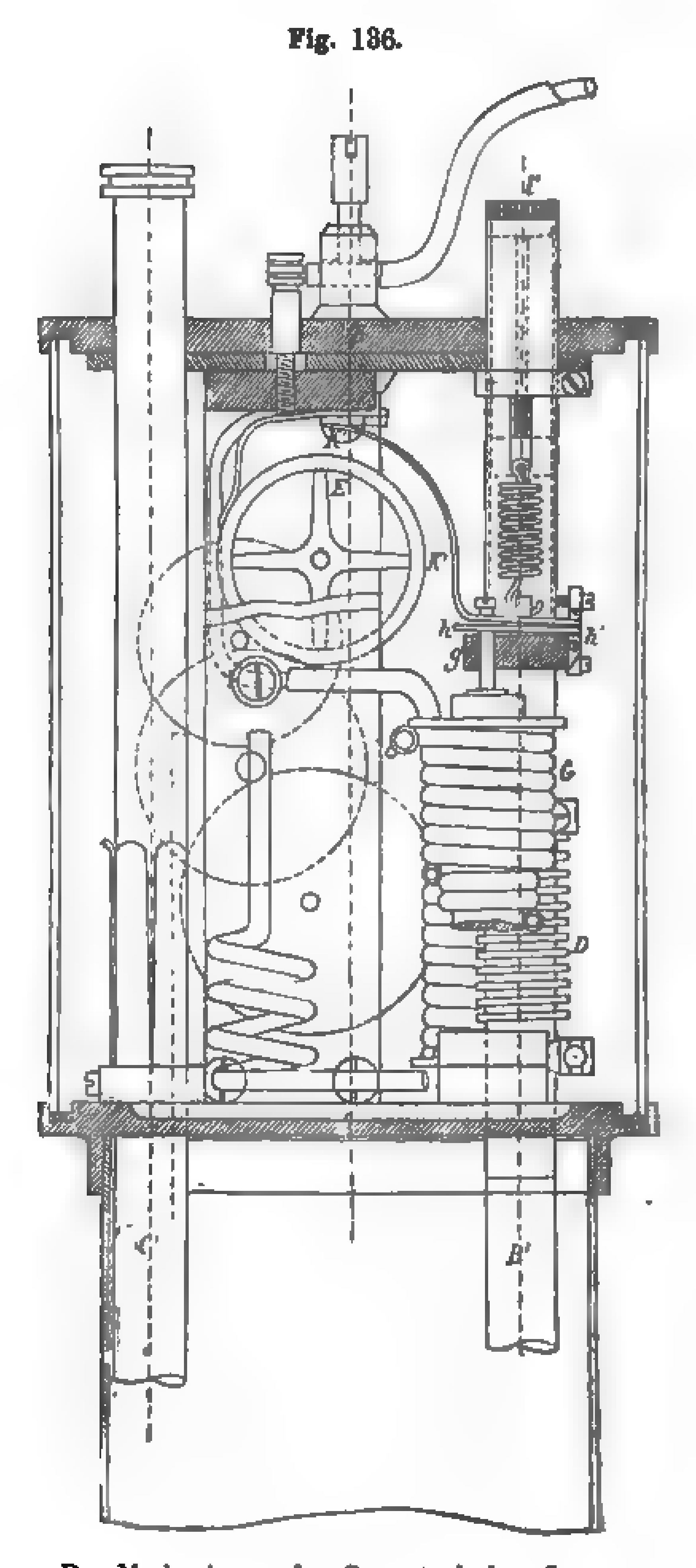
und durch die Figuren 135, 136 und 137 dargestellt wird. Der Mechanismus dieser Lampe wird von einem Glascylinder umgeben, welcher durch eine Boden- und Deckelplatte *b* geschlossen ist. Das Arbeiten der Lampe kann somit überwacht werden ohne Entfernung weiterer Umhüllungen. (Vergl. Figur 136.) In den Deckplatten befinden sich Löcher, durch welche die Kohlenhalter gleiten können. Der untere Kohlenhalter ist so construirt, dass er den Strom von der negativen Kohle bei vollkommener Isolation vom Lampenkörper zu dem Elektromagnet *G* leitet. Ist dieser stromlos, so hebt die Spiralfeder *D* den Halter *B'* in die Höhe, bis der Bundring *b'* gegen die Platte *b* stösst (Fig. 137). Der Ring *b'* ist fest mit dem Halter *B'* verbunden, ebenso der Querstab *g* (Fig. 136), welcher als Armatur des Elektromagnets *G* dient. Auf der oberen Fläche dieser Armatur ist eine leichte Eisenplatte *h* bei *h'* zwischen zwei Stahlspitzen drehbar befestigt; das Gewicht der Platte *h* ist etwas kleiner als die Zugkraft der feinen Spiralfeder *l*, deren Regulirung durch die Schraube *l'* mit grösster Genauigkeit erfolgen muss. Die Platte *h* trägt einen krummen Arm *K K'*, welcher je nach der Stellung der Platte *h* leicht auf dem Bremsrade *E* aufliegt oder nicht. Dieses (*E*) ist mit einem Räderwerk verbunden, dessen letztes Rad durch eine Verzahnung mit der Messingstange *C'*, dem oberen Kohlenhalter, in Verbindung steht; das Gewicht des letzteren reicht zur Bewegung der Kohle und des ganzen Räderwerkes aus.

Fig. 135.



Crompton's elektrische Lampe.

Fig. 136.



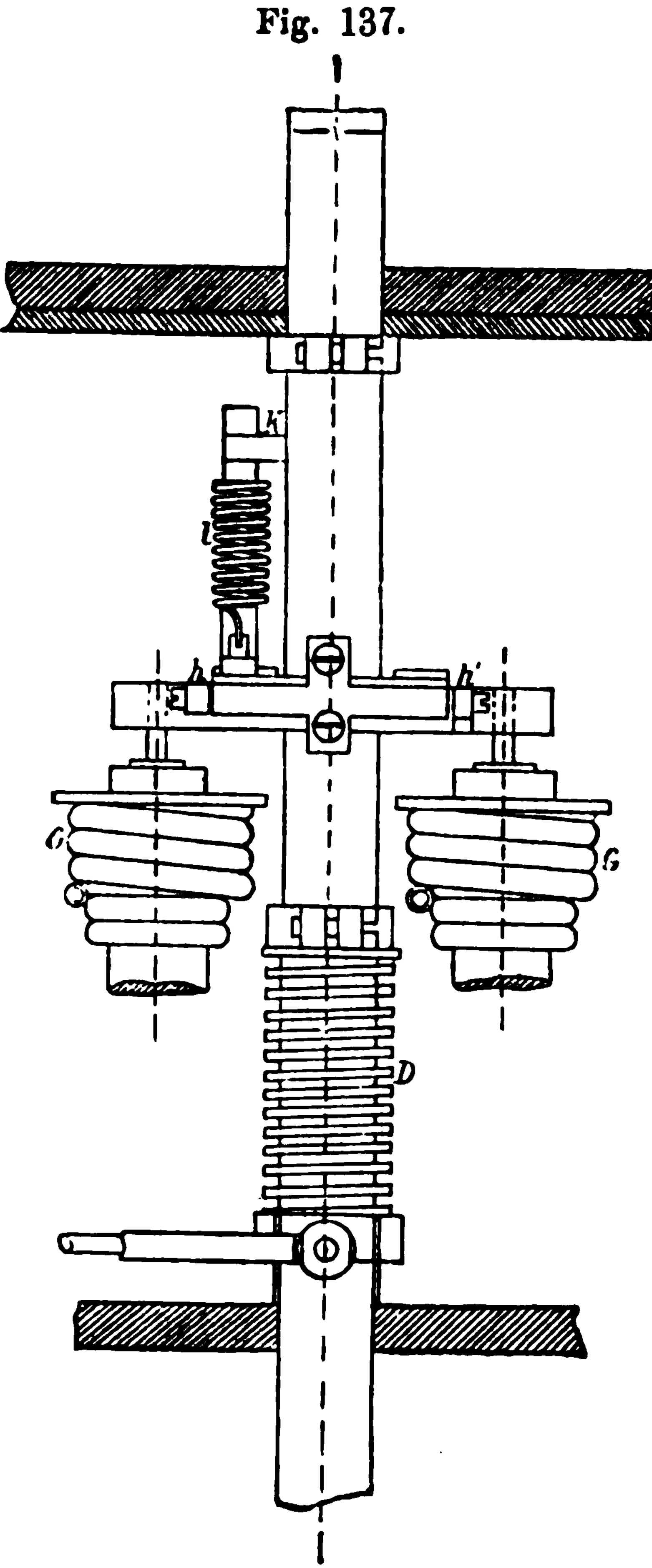
Der Mechanismus der Crompton'schen Lampe.

Geht kein Strom durch die Lampe, so berühren sich die Kohlen. Durchfliesst aber ein genügend starker Strom die Lampe, so zieht der Elektromagnet die Armatur *g* unter Ueberwindung der Spiralfeder *D* an sich an, so dass beide einander berühren, während die Kohlenhalter *B'* und *C'* von einander geschoben werden. Die Armatur *g* zieht nämlich den mit ihr verbundenen Kohlenhalter *B'* nach unten, sowie sie selbst vom Elektromagnet angezogen wird; dieser zieht aber auch die Platte *h* fest gegen die Armatur, so dass der Arm *K K'* das Bremsrad fasst und hemmt, wodurch jede Bewegung des Räderwerkes bezw. des oberen Kohlenhalters gehindert wird. Somit wird sich der Lichtbogen entfalten und eine Abnutzung der Kohlen eintreten. Dadurch wächst der Widerstand in der Leitung und es nimmt die Stromstärke etwas ab. Bei einer geringen Schwächung der Stromstärke bleibt der Contact zwischen Armatur und Elektromagnet bestehen, der überhaupt so lange andauert, als der Strom ein bestimmtes Minimum der Stärke hat; indessen reicht die geringste Schwächung der Stromstärke bezw. des Magnetismus des Elektromagnets hin, dass die Platte *h*, deren Grösse und Gewicht bis aufs Aeusserste herabgedrückt sind, der Zugkraft der Spiralfeder *l* folgt und sich von der Armatur *g* abhebt; dann hebt sich auch der Arm *K K'* vom Bremsrade ab, und es wird der obere Kohlenhalter so weit sinken, bis normaler Bogenwiderstand und normale Stromstärke wieder hergestellt sind und dann die Bremse abermals gehemmt wird. Kurz, ist eine gut gearbeitete *Crompton*'sche Lampe fein regulirt, so ist die Platte *h* fortwährend in Bewegung, so dass das Bremsrad sich nur ganz langsam dreht, wodurch ein sehr regelmässiger Nachschub der Kohlen erfolgt.

Hiermit fällt bei der *Crompton*'schen Lampe ein Fehler weg, der sogar den Lampen von *Serrin* (§. 74) und *Siemens* (§. 77) anklebt. Bei diesen erfolgt nämlich der Nachschub erst bei zu grosser Verminderung der Stromstärke und hört

dann erst auf, wenn die Stromstärke in Folge zu grosser Annäherung der Kohlen zu stark geworden ist. „In den Lampen von *Serrin* und *Siemens* müssen erst schwer gleitende Stücke oder bewegliche Parallelogramme in Bewegung gesetzt werden, und wenn man bedenkt, wie beträchtlich das Reibungs- und Trägheitsmoment jener schweren Theile ist und wie sehr ihre freie Bewegung durch verdicktes oder geronnenes Oel, Schmutz, Staub u. s. w. afficirt wird, so ist leicht einzusehen, dass der Nachschub an solchen Lampen nicht regelmässig sein kann. Er wird stets mehr oder weniger intermittirend sein, je nachdem die Lampen rein sind oder nicht." (*Cr.* l. c. p. 25.) Bei der *Crompton*'schen Lampe ist aber der einzig bewegliche Theil, die Platte *h*, so leicht und fein gearbeitet, dass die wechselnde Stärke des Elektromagnets nur eine äusserst geringe Arbeitsleistung zu verrichten hat; ein Oelen ist niemals erforderlich, da die Platte zwischen feinen Stahlspitzen läuft.[1])

Fig. 137.



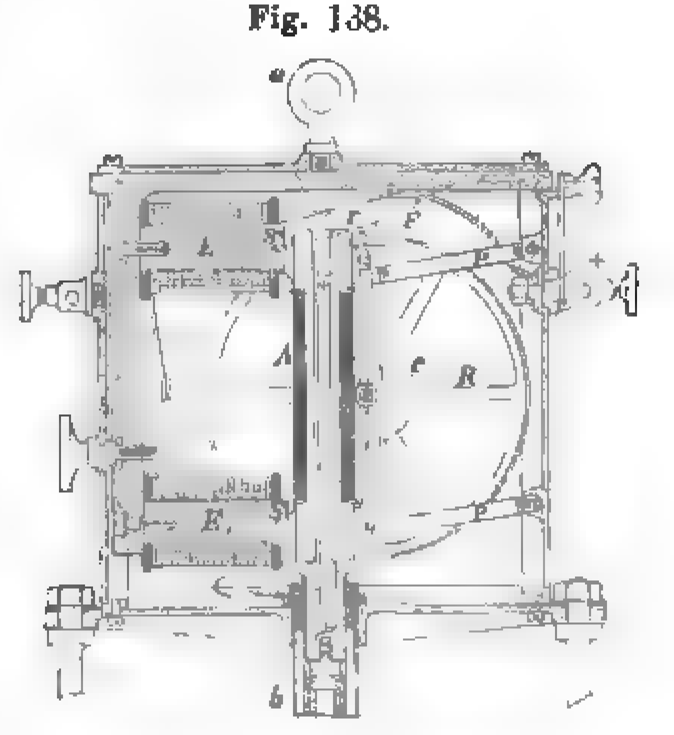
Der Mechanismus der Crompton'schen Lampe.

[1]) Zu Lampen, die länger als fünf Stunden brennen sollen, benutzt *Crompton* als Führung für den entsprechend langen Kohlenstab eine

Ein Gegenstück zu der *Crompton*'schen Lampe ist die Lampe von *Bürgin*; der Unterschied zwischen beiden ist, dass bei jener das Räderwerk fest und die hemmende Feder beweglich, bei dieser aber die letztere fest und das Rad beweglich ist. Der Mechanismus der

76. Lampe von E. Bürgin in Basel ist in der Fig. 138 in verticalem Durchschnitte abgebildet. Man sieht, wie an der Seite des den Mechanismus umschliessenden Gehäuses zwei Elektromagnete E und E' befestigt sind, deren Polen der durch das Parallelogramm $P P'$ getragene Anker A gegenüber liegt. An diesem ist, wie die Fig. 138 deutlich zeigt, das mit einer Spule c versehene Rad R befestigt. Eine auf der Spule c befestigte und aufgewickelte Kette ist über die Rolle r geleitet und alsdann mit dem oberen Theil des positiven Kohlenhalters verbunden. Letzterer wirkt also durch sein Gewicht und durch die Vermittelung der Kette auf das Rad ein: dieses kann sich jedoch nur dann bewegen, wenn sich dasselbe in einer Lage befindet, wo die Feder F auf demselben nicht aufliegt und bremsend einwirkt, d. h. eine Bewegung des Rades kann nur stattfinden, wenn der Anker A seine tiefste Lage annimmt.

Fig. 138.



Bürgin's elektrische Lampe.

Die Lage des Ankers hängt aber von der Stromstärke

weitere Röhre, an deren unterem Ende sich der den Strom der Kohle zuführende Platincontact befindet. So liegt zwischen dem Contacte und dem Lichtbogen stets ein gleich langes Kohlenstück, das also auch dem Strome immer denselben Widerstand bietet.

ab. Der elektrische Strom, welcher bei der +Klemme (rechts) in die Lampe eintritt, spaltet sich in zwei Zweige, von denen der eine zu den Umwindungsdrähten der Elektromagnete *E* und *E'*, den beiden Kohlen und dann zur negativen Klemme (links), der andere aber zu dem Umwindungsdrahte des Ankers *A*, den beiden Kohlen und der negativen Klemme sich abzweigt. Die Drahtleitung ist so geführt, dass die Polen der Armatur *A* zu den gegenüberliegenden der Elektromagnete *E* und *E'* ungleichnamig sind. Sonach findet zwischen den einzelnen Polen Anziehung statt, welche, wenn die Stromstärke. bezw. die Weite des Lichtbogens eine normale ist, stark genug ist, den Anker *A* und mit diesem das Rad *R* zu heben. Dann aber bremst die Feder *F* das Rad, und jede abwärts gehende Bewegung des Kohlenhalters ist unmöglich. Nimmt jedoch mit zunehmender Weite des Lichtbogens die Stromstärke in den Drähten der drei Elektromagnete (*E E'* und *A*) ab und werden die Polen derselben dadurch schwächer, so reicht die gegenseitige Anziehung nicht hin, den Anker *A* zu halten. Derselbe sinkt, mit ihm das Rad, welches von der Feder *F* getrennt der Einwirkung des Gewichtes des Kohlenhalters nachgibt und sich bewegt. Es sinkt also der obere Kohlenhalter; da sich in Folge dessen die Kohlen wieder nähern, so nimmt dadurch die Stromstärke in den Drähten der Elektromagnete *E*, *E'* und *A* zu; die Pole derselben werden stärker, die gegenseitige Anziehung wächst und erreicht eine solche Grösse, bei der der Anker *A* wieder emporgehoben und das Rad gebremst wird. In geschilderter Weise fährt die Lampe zu functioniren fort.

Die beschriebene Lampe liefert einen veränderlichen Focus; *Bürgin* baut jedoch auch unter Beibehaltung des im Vorstehenden erklärten Princips Lampen mit constantem Focus.[1])

[1]) Bei diesen sind auf der Achse des Rades *R* zwei Spulen von verschiedenem Durchmesser angebracht, deren Ketten mit dem oberen bezw. mit dem unteren Kohlenhalter in Verbindung stehen und so geführt sind, dass die beiden Kohlen stets in derselben Höhe stehen.

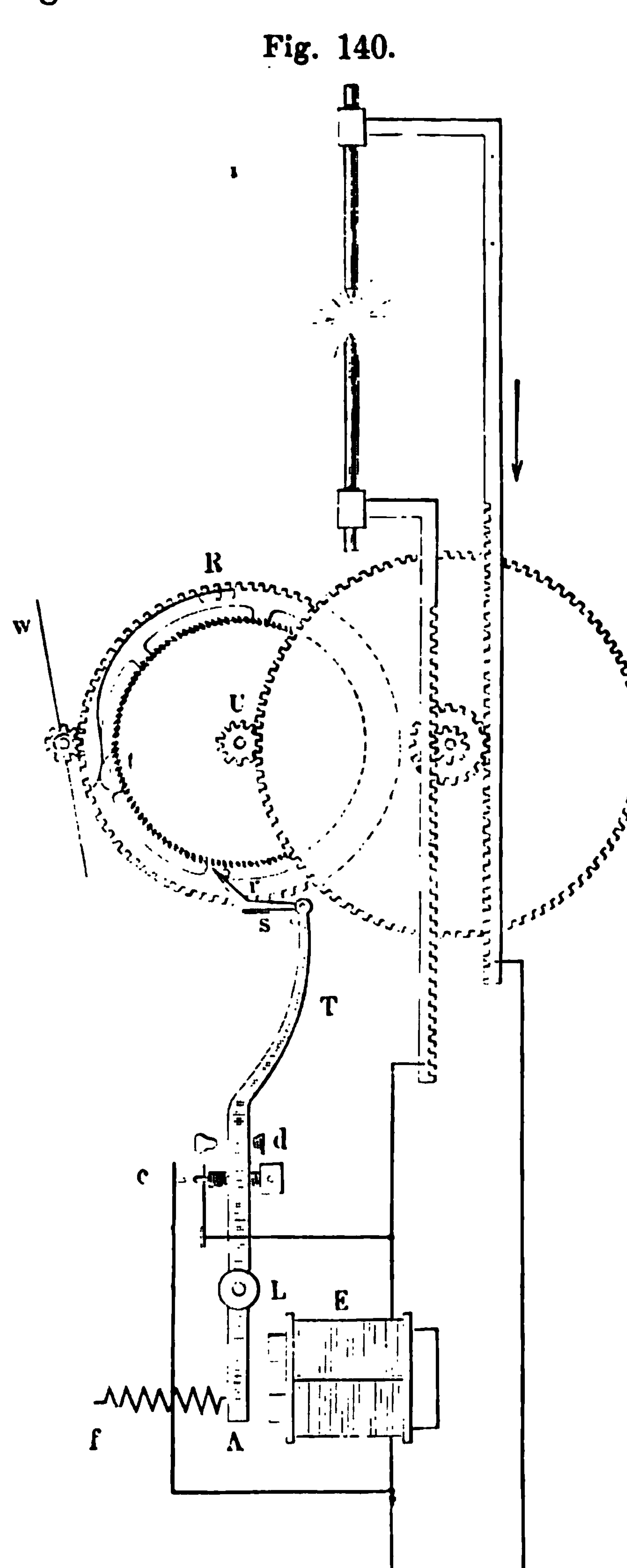
welche zu wissenschaftlichen Zwecken vorzüglich geeignet sein sollen. So schreibt uns Herr Prof. *Hagenbach-Bischoff*: „Ich mache Sie noch darauf aufmerksam, dass Herr *Bürgin* auch eine elektrische Lampe construirt hat, die sicherlich zu dem Besten gehört, was in dieser Hinsicht geleistet worden ist. Ich habe früher die verschiedenen physikalischen Projectionsversuche mit der *Duboscq*'schen Laterne und der *Foucault*'schen Lampe gemacht, und es gilt ja dieser Apparat ziemlich allgemein als musterhaft. Seitdem ich zu der *Bürgin*'schen Lampe eine eigene Projectionslaterne construirt habe und mich derselben bediene, habe ich erst eingesehen, wie unvollkommen und in mancher Hinsicht unpraktisch der *Duboscq*'sche Apparat ist. In einem Specialcolleg über Spectralanalyse, das ich im vergangenen Winter hielt, habe ch weit über 50 Spectren projicirt, alle mit gleicher Vollkommenheit. Die Bilder, mit meinem elektrischen Mikroskop projicirt, werden deutlicher, als wenn Sonnenlicht angewandt wird. Bei Vorlesungen in einem grossen Saale vor 400 und 500 Zuhörern begleiten wir ganz gewöhnlich den Vortrag mit Projectionen; wir benutzen dabei zwei *Bürgin*'sche Lampen; die eine ist über dem Oberlichte des Saales und beleuchtet denselben mit einem milden Lichte, das ganz wie Tageshelle aussieht; die andere ist in der Laterne, mit der wir auf einen Schirm von 6 m Seite projiciren; mit Hülfe eines Knopfes, an dem man zieht oder drückt, kann der Vortragende in jedem Momente das Bild auf der Wand oder den Saal beleuchtet haben, und es fallen so die dunklen Minuten, die sehr störend sein können, vollkommen weg; das Projectionsbild auf der Wand ist so hell, dass es dadurch m ganzen Saale hell ist."

Bemerken wir noch, dass *Crompton* und *Bürgin* auch Lampen construiren, in welchen zwei Kohlenpaare angebracht werden.

77. Die Siemens-Halske'sche Lampe *(System v. Hefner-Alteneck)* hat wie die Lampe von *Serrin* ihre bewegenden

Folge hiervon verlässt der Anker unter dem Einflusse der Abreissfeder *f* wieder die Pole des Elektromagnets; der Contact *c* wird wieder geöffnet, der Anker wieder angezogen u. s. w.

Fig. 140.



Siemens-Halske's elektrische Lampe.

Sobald also der elektrische Strom oder der durch ihn im Elektromagnet hervorgerufene Magnetismus bei der Berührung oder, wenn die Lampe in Betrieb ist, bei hinreichender Näherung der Kohlenspitzen kräftig genug geworden ist, um die Spannung der Spiralfeder *f* zu überwinden, wird der Anker *A* in oscillirende Bewegungen versetzt, welche so lange anhalten, bis die Stromstärke resp. die Stärke des Magnetismus wieder unter diese Grenze gesunken ist.

Diese hin- und hergehenden Bewegungen macht ein kleiner, auf der Verlängerung *T* des Ankers sitzender federnder Stösser *m* (*s* in Fig. 140) mit, welcher dabei stossweise auf ein Rädchen *u* mit schräg stehenden Zähnen ein-

wirkt und dieses schrittweise in einer und derselben Richtung umdreht. Mit diesem Rädchen aber stehen die übrigen Räder und die Zahnstangen der Kohlenhalter derart im Eingriffe, dass durch die genannte unter der Einwirkung des Stössers *m* erfolgende Drehung von *U* die beiden Kohlenhalter langsam von einander entfernt werden. Je weiter sich aber dabei die Kohlenspitzen von einander entfernen, desto grösser wird der Widerstand des Flammenbogens und desto schwächer wird der elektrische Strom, so dass die oscillirende Bewegung des Ankers und des Hebels *Tm* bald wieder aufhört und der Hebel an seinem Ruhe-Anschlage *d* liegen bleibt.

In dieser Stellung wird der Stösser durch ein am Lampengestelle befestigtes Stück *n*, an dem er mit einer schrägen Fläche aufläuft, gänzlich aus den Zähnen des Sperr-Rades *u* gehoben, das Uebergewicht des obern Kohlenhalters kommt dann wieder zur Wirkung und bringt, indem es das Rädchen *u* wieder rückwärts dreht, die Kohlenspitzen wieder einander näher, und zwar nähern sich diese letzteren so weit, bis in Folge der damit verbundenen Zunahme der Stromstärke die oscillirende Bewegung des Ankers und des Stosshebels wieder beginnt. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Kohlenspitzen in Folge des Sinkens des obern Kohlenhalters sich einander nähern, wird durch einen Windfang *w* auf die gewöhnliche Weise verzögert resp. regulirt, und damit der Anker durch seine Bewegung nicht auch diesen im entgegengesetzten Sinne zu drehen braucht, ist dessen Treibrad *R* (Fig. 140) auf die Achse des Rädchens *u* nur lose aufgesetzt und durch eine kleine Sperrklinke *t* nur für die letztgenannte Drehung in der Richtung, wie sie das Herabsinken des obern Kohlenhalters hervorbringt, an das Sperrrad gekuppelt.

Bei normalem Arbeiten der Lampe sind die alternirenden Bewegungen der Kohlenspitzen an diesen selbst kaum wahrnehmbar; erlischt jedoch der Lichtbogen durch eine äussere

um dann alle Hauptbestandtheile mit der Hand herausnehmen zu können.

Zu den Hauptbestandtheilen der bisher beschriebenen Lampen gehört ein Elektromagnet. Die Constanterhaltung des Widerstandes nur einer elektrischen Lampe verlangt daher — wie *Uppenborn* richtig bemerkt — unter Voraussetzung eines Stromes von constanter Intensität noch immer, dass die auf den Anker der elektromagnetischen Regulirvorrichtung ausgeübte magnetische Kraft von der Ankerstellung, d. h. der Entfernung des Ankers von dem Magnet, unabhängig und vielmehr nur eine Function der Stromstärke sei. Dieses ist aber bei einem Elektromagnet keineswegs der Fall. Es ändern sich dort die anziehenden Kräfte umgekehrt proportional den Quadraten jener Entfernungen. Im allgemeinen muss daher bei der Construction der elektrischen Lampen die Beseitigung des Elektromagnets und Ankers einerseits, die Einführung des Solenoids und zugehörigen Kernes andererseits als Fortschritt betrachtet werden, da die bei den verschiedenen Stellungen des Kernes eintretenden Aenderungen in der Anziehung des Solenoids leicht ausgeglichen werden können. Genannten Fortschritt finden wir bei den Lampen von *Jaspar* und *Dornfeld*.

78. **Die Lampe von J. Jaspar** (Maschinenbauer in Lüttich). die sich bei ungewöhnlicher Empfindlichkeit im Reguliren und Sicherheit im Betriebe durch eine nicht minder grosse Einfachheit der Construction empfiehlt, ist in Fig. 141 abgebildet, und zwar für den Moment, wo die Kohlenstäbe fast ganz abgebrannt sind.

Der obere positive Kohlenhalter ist an einer Stange *A A* befestigt, welche mit dem +Pole der Lichtmaschine in leitender Verbindung steht, sonst aber von allen Theilen der Lampe vollkommen isolirt ist. An ihrem untern Ende trägt diese Stange einen Führungsarm, der eine verticale Schiene umfasst und bei seiner Bewegung längs derselben jede

Drehung der Stange *A A* und des obern Kohlenhalters verhindert. Wie bei der Lampe von *Serrin* (Fig. 138) lässt sich durch zwei Stellschrauben am obern Theile des auf *A* sitzenden Querarms die obere Kohle genau in die verticale Linie der unteren Kohle einstellen.

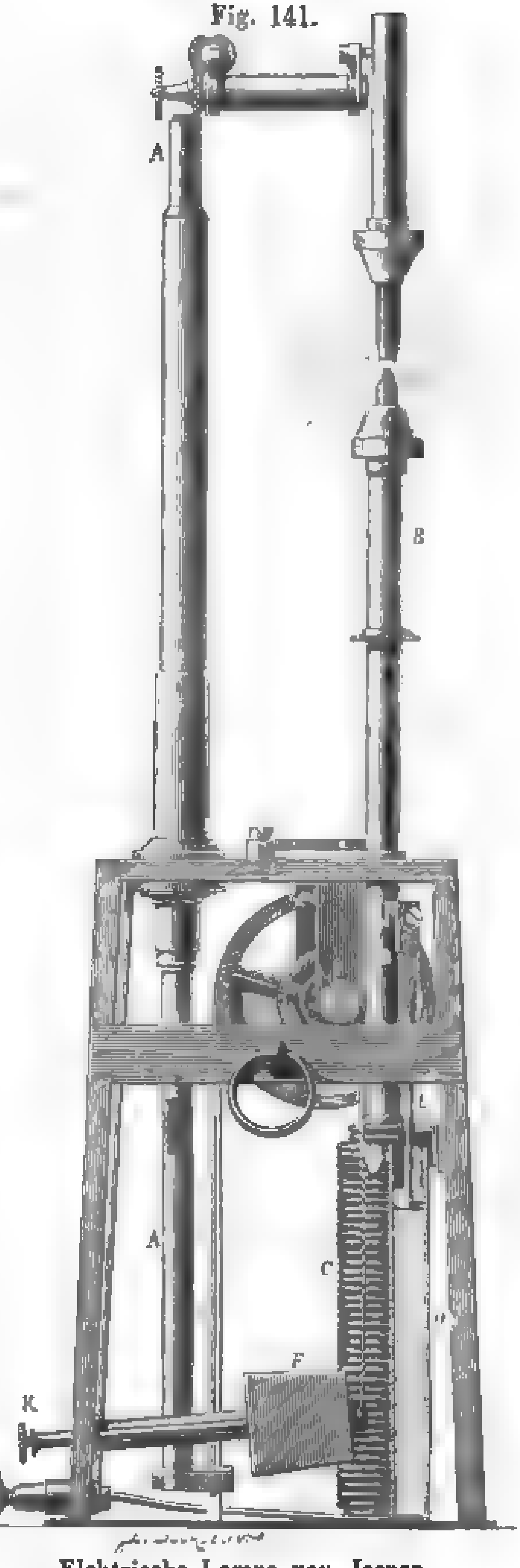


Fig. 141.
Elektrische Lampe von Jaspar.

Der untere negative Kohlenhalter steckt oben in einer schmiedeeisernen Stange *B*, welche mit dem metallenen Gestelle und mit dem negativen Pole der Lichtmaschine in Verbindung steht und mit ihrem untern Ende auf eine gewisse Strecke in die von dem elektrischen Strome durchflossene Drahtspirale *C* (Solenoid) hinabreicht. Der Strom fliesst daher in der Lampe von der +Polklemme durch die Stange *A A* zu der oberen Kohle, von hier zur unteren Kohle, sodann durch die Stange *B* durch das Solenoid *C* nach der —Polklemme weiter in die Leitung.

der oberen positiven Kohle, deren Gewicht überdies an einem grossen Hebelarme wirkt, doppelt so viel wegbrennt wie von der unteren. Aber diese Ausgleichung genügt nicht und der Rest wird von dem Uebergewichte *E* besorgt. Bei Beginn der Bewegung befindet sich nämlich dasselbe zur rechten Hand, vermindert hierdurch das Gewicht von *A* und erhöht die Wirkung des Solenoids. In dem Maasse wie das Contregewicht *E* in die Höhe geht und die verticale Schwerelinie seines Schwerpunctes sich der Achse der Schnurscheiben nähert, nimmt sein Hebelarm ab und wird Null, wenn dieser Schwerpunct lothrecht über dieser Achse liegt. Bei weiterm Abbrennen der Kohlen rückt das Gegengewicht auf die andere Seite nach links, verstärkt nunmehr die Wirkung des obern Kohlenhalters und erreicht seine maximale Wirkung, wenn die Kohlen beinahe ganz abgebrannt sind, wie dieses aus der Figur 141 leicht zu ersehen ist. In dieser Lage übt das Gegengewicht *E* offenbar seine grösste verstärkende Wirkung auf das Gewicht von *A A* aus, und das ist die Lage, wo auch das Solenoid seine grösste Anziehung auf die Eisenstange *B* ausübt.

Neben dem Solenoid *C* steht in leitender Verbindung mit den übrigen Theilen der Lampe eine mit Quecksilber gefüllte Röhre *D*, in welcher sich mit nur wenig Spielraum ein eiserner Kolben bewegt, dessen Stange *L* mit der Stange *B* fest verbunden ist. Diese Röhre hat den Zweck, jede zu rasche, stossweise wirkende Bewegung der Kohlenhalter, namentlich ein zu rasches Niedersinken der oberen Stange, zu verhüten; ausserdem aber stellt es noch einen vollständigen Contact der Leitung mit der unteren Kohle her.

Der *Jaspar*'sche Regulator wirkt ganz ausgezeichnet und hat dem Erfinder auf der Pariser Weltausstellung von 1878 die goldene Medaille eingetragen. Sehr gerühmt wird auch

79. **Die Lampe von C. Dornfeld in Essen a. d. Ruhr** (*Krupp*'s Patent), welche die wesentlichsten Organe mit der

vorhin beschriebenen Lampe von *Jaspar* gemein hat, sich aber von dieser durch die Art und Weise unterscheidet, wie das Solenoid die Kohlen von einander trennt und den Lichtbogen auf der erforderlichen Länge erhält.

Die beiden Kohlenhalter *a* und *b* (Fig. 142) hängen auch hier mittelst Schnüre oder Gliederkettchen je an einer Scheibe mit gemeinschaftlicher Achse, und zwar ist die Scheibe *T* (Fig. 143), an welcher der obere positive Halter hängt, wieder doppelt so gross als die Scheibe *D* des negativen Halters *b*; die Schnüre sind ferner so gelegt, dass, wenn *a* durch sein Gewicht herabsinkt, er den Halter *b* in die Höhe zieht, wobei *b* nur halb so hoch steigt als *a* fällt, der Lichtbogen also immer auf derselben Stelle im Raume bleibt.

Da das Gewicht der Stange *a*, falls ihre Bewegung nicht leicht von Staub u. s. w. gehemmt werden soll, nicht zu klein sein darf, so sind Vorkehrungen zu treffen, um den Lauf derselben zu verlangsamen und zu reguliren, zu welchem Zwecke *Jaspar* die Quecksilberröhre anwandte. In der *Dornfeld*'schen Lampe ist der Quecksilberwiderstand zweckmässig durch den Luftwiderstand ersetzt, und zu

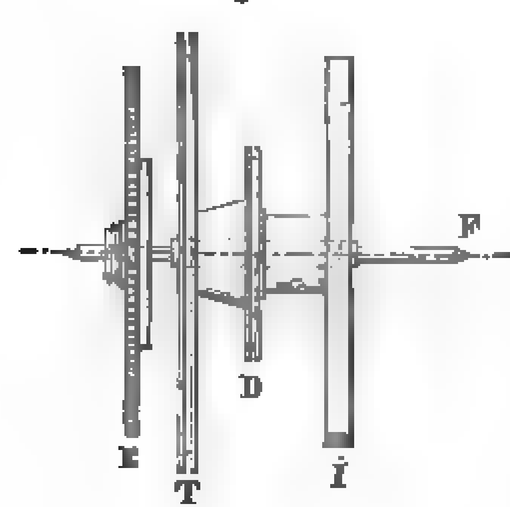
Fig. 142.



Elektr. Lampe von C. Dornfeld.

diesem Zwecke sitzt auf derselben Achse F der Schnurscheiben T und D noch ein Zahnrad E, welches durch ein Beisatzrad in einen Windflügel eingreift. (Fig. 143.) Dieses Rad E ist mit einem Sperrrad versehen, damit das Auseinanderziehen der Kohlenhalter beim Einsetzen neuer Kohlen leicht von Statten geht.

Fig. 143.



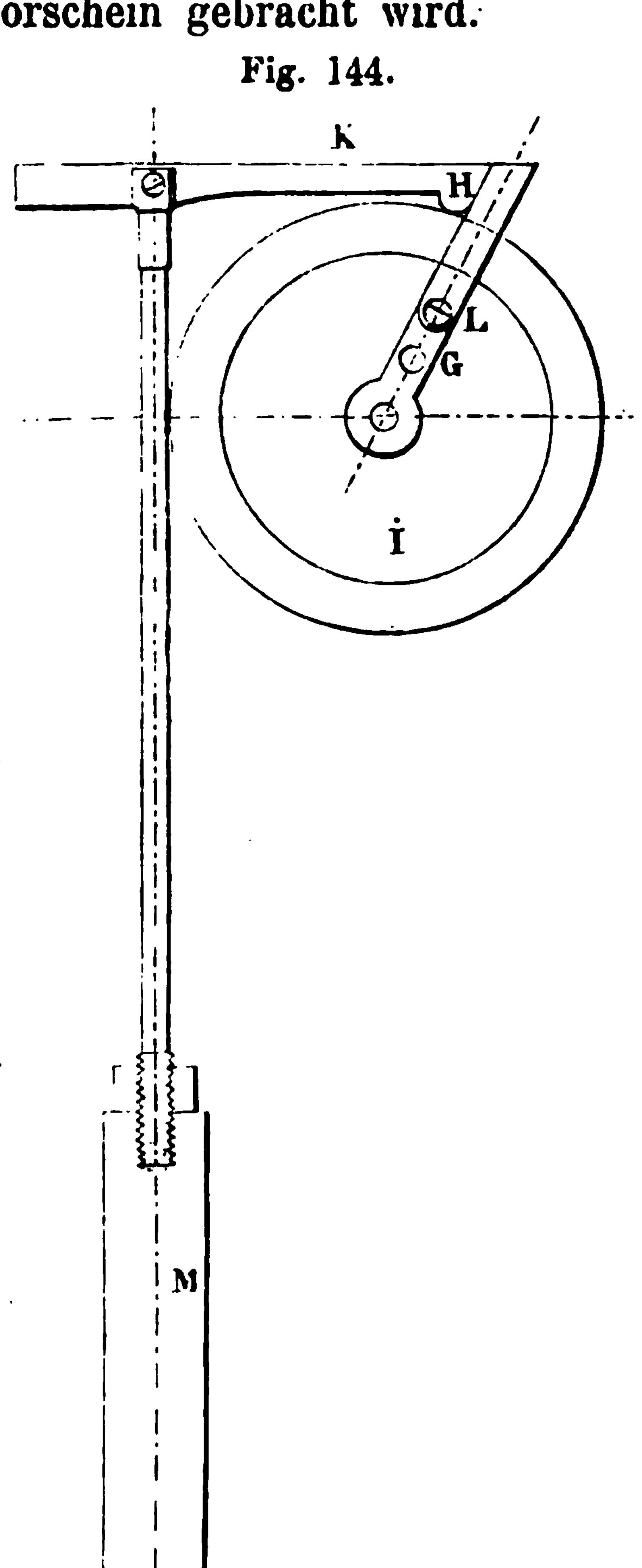
Scheiben und Räder der Lampe Dornfeld.

Die selbstthätige Einstellung und Regulirung des richtigen Abstandes der Kohlenspitzen, der Länge des Lichtbogens, geschieht auf folgende Weise. Auf der den Scheiben T, D und E gemeinschaftlichen Achse F sitzt eine Scheibe J, auf deren Umfang eine eigenthümlich construirte Bremse K einwirkt. (Fig. 144.) Dieselbe besteht aus zwei Theilen, die durch ein Gelenk bei L verbunden sind. In dem unteren Theile, der sich auf der gemeinschaftlichen Achse F frei dreht, ist ein Loch G gebohrt, in welches ein Stift hineinragt, die Bewegung dieses Theiles der Bremse nach rückwärts begränzend. An dem obern Theile der Bremse sitzt der Bremsklotz H und am andern Ende hängt an einer Messingstange die schmiedeeiserne Stange M eines Solenoids (Fig. 142), dessen Drahtspirale stets in der Leitung eingeschlossen und das also beständig vom Strome durchflossen ist.

Wenn die Lampe in Thätigkeit gesetzt und durch das Zusammenlaufen der Kohlen die Leitung geschlossen wird, circulirt der Strom durch das Solenoid, und die Eisenstange M wird in die Drahtspirale hineingezogen. Hierdurch aber wird der Bremsklotz H auf den Umfang der Scheibe J gepresst und bei seiner weiteren Bewegung die Scheibe mitgenommen, jedoch nur so weit, als es eine seitliche Stellschraube O (Fig. 142) erlaubt. Eben diese Drehung der

be *J* aber dreht die Schnurscheiben ein wenig rück-
;, wodurch der obere Kohlenhalter gehoben, der untere
ıkt, und der Lichtbogen auf die richtige Länge zwischen
n Kohlenspitzen zum Vorschein gebracht wird.

Fig. 144.



Bremse zu Dornfeld's Lampe.

ie Kohlenspitzen brennen
nach und nach ab, der
bogen wird grösser, der
n schwächer und die An-
ng des Solenoids auf den
ıkern *M* nimmt ab. Bei
gewissen Länge des Licht-
ıs überwiegt sodann eine
issfeder *p*, welche durch
Schraube *q* von aussen
irt werden kann, die
hung des Solenoids; der
ıkern *M* geht in die Höhe
ewegt die Bremse, unter-
t durch das Gewicht des
ı Kohlenhalters, langsam
k; die Bremsscheibe *J*
sich nun ebenfalls, so
die beiden Kohlenhalter
inander nähern. Ist diese
gung so weit gegangen,
rher die Bremse zurück-
ht wurde, so legt sich
ıntere Theil der Bremse
ı den Stift, der in das
G hineinragt. In Folge
n dreht sich bei weiterer
ächung des Stromes die
se in dem Gelenk *L*, der Bremsklotz *H* lässt die
be *J* los und die Kohlenspitzen bewegen sich frei

gegeneinander. Dadurch verstärkt sich der Strom wieder, das Solenoid zieht wieder den Eisenkern *M* herab, die Bremse legt sich wieder auf die Scheibe, um sie entweder bloss festzuhalten, wenn die Kohlen der Stromstärke entsprechend richtig stehen, oder dieselben zurückzuholen, wenn sie einander zu nahe stehen.

Auf die beschriebene Weise wird ein ruhiges Abbrennen der Kohlen herbeigeführt; dieselben können bei einmaliger richtiger Adjustirung nie zu weit auseinander geholt werden, und andererseits ist die Regulirung der Lampe doch nicht so empfindlich, dass kleine Stromschwankungen, wie sie bei dynamo-elektrischen Lichtmaschinen oder nicht ganz gleichförmig arbeitenden Motoren kaum zu vermeiden sind, eine Bewegung der Kohlenspitzen verursachen.

Die *Dornfeld*'schen Regulatoren sind schon lange auf dem *Krupp*'schen Etablissement in grösserer Zahl in Thätigkeit und drei Stück derselben sind im Winter 1878—1879 von Nachmittags 4 Uhr bis Morgens 8 Uhr, also täglich 16 Stunden, bloss unterbrochen durch das Einsetzen neuer Kohlenstäbe, in Thätigkeit gewesen und haben stets in befriedigender Weise functionirt.

In den meisten Fällen, in denen elektrische Beleuchtung angewandt wird, z. B. bei der Beleuchtung von Arbeitsräumen, freien Plätzen u. s. w., wird die Lampe ohne Hohlspiegel und ohne Linsen angewandt, und in solchen Fällen ist es unnöthig, den Lichtbogen immer auf derselben Stelle zu erhalten. Der untere Kohlenhalter kann dann feststehend angeordnet werden, und der obere Kohlenhalter fällt durch sein Gewicht herunter und wird mittelst einer Schnur und der vorhin beschriebenen Bremse in seinen Bewegungen gehemmt und regulirt. Bei den nach diesem sehr vereinfachten Princip verfertigten *Dornfeld*'schen Lampen lassen sich leicht Kohlen verwenden, die 10—12 Stunden brennen. Lampen dieser Art gewähren den Vortheil, dass sie weit

weniger kosten, dass man nicht so oft neue Kohlen einzusetzen braucht und daher auch der Kohlenverbrauch erheblich geringer ist, als bei Lampen mit beispielsweise vierstündiger Brennzeit, weil man dann auf zwölf Stunden nur so viel Abfall hat, als sonst auf vier Stunden.

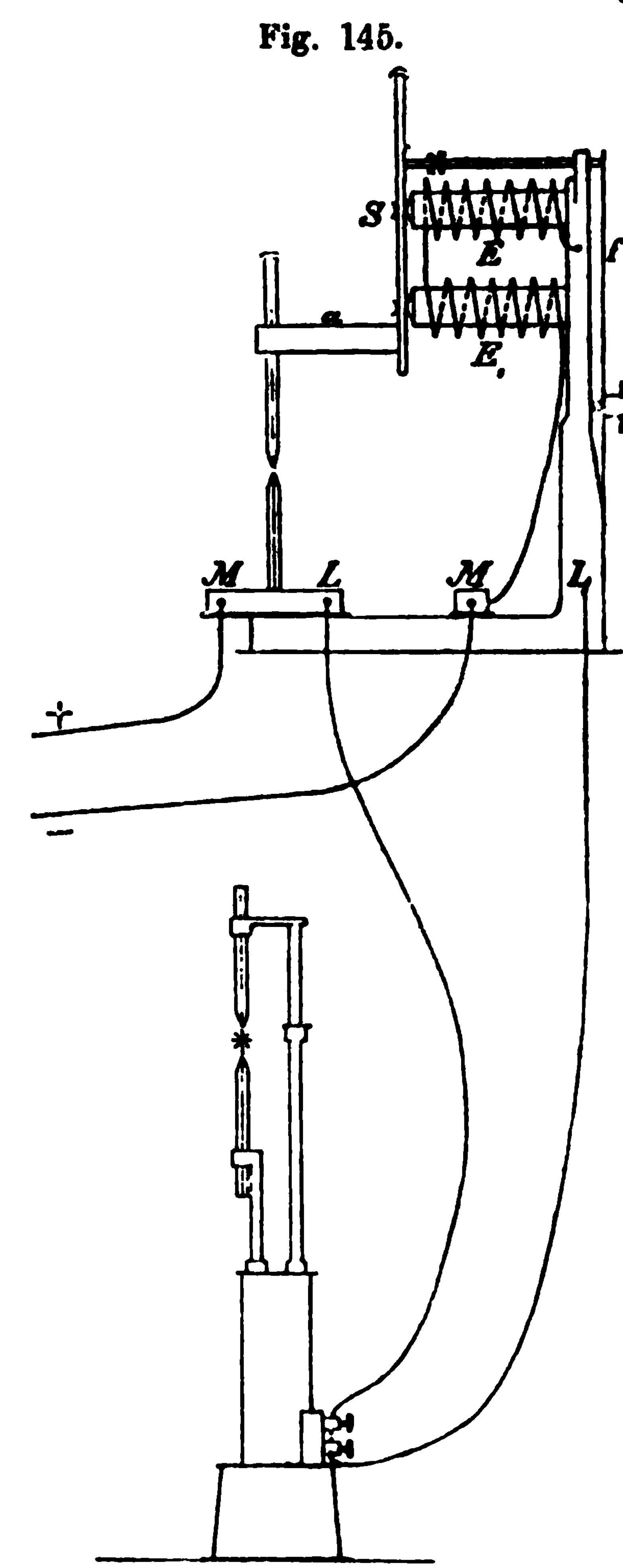
80. Die Nebenlampen von Siemens-Halske und Schuckert. Der Gebrauch der beschriebenen Lampen ist von dem Uebelstande begleitet, dass bei unreinen Kohlen der Lichtbogen erlöschen kann; abgesehen davon, dass durch den unterbrochenen Strom Gefahr erwachsen kann, ist in vielen Fällen, so auf Leuchtthürmen, ein stetiges Licht unentbehrlich. Um ein solches zu erzielen, haben zuerst *Siemens* und *Halske* eine Nebenlampe construirt, welche den Zweck hat, bei einem zufällig eintretenden Verlöschen des Lichtbogens ein Nebenlicht anzuzünden und bei dem selbstthätigen Wiederauftreten des Hauptlichtes auch von selbst erlöschen zu lassen. Der Mechanismus der *Siemens-Halske*'schen Nebenlampe (Fig. 145) ergibt sich aus den folgenden Angaben des Herrn *v. Hefner-Alteneck*:

„Vor den Polen eines hufeisenförmigen Elektromagnets, dessen Schenkel $E\,E_1$ horizontal und übereinander liegen, gleitet eine Eisenschiene S, welche an einem rechtwinkelig abstehenden Arme a den oberen Kohlenstift trägt, durch ihr Gewicht so weit abwärts, bis die beiden Kohlenstifte aufeinander treffen. Die Eisenschiene ist dabei so geführt, dass sie sich von dem unteren Pole des Elektromagnets nicht entfernen, sich aber um eine dachförmig zugefeilte Kante desselben schaukelartig ein wenig drehen kann, wobei sie sich dem oberen Pole um ein geringes nähert oder von ihm entfernt.

Das letztere geschieht in der Ruhe unter der Einwirkung der regulirbaren Feder f. Tritt der elektrische Strom in den Umwindungen des Elektromagnets auf, so hält der entstehende Magnetismus im untern Pole zunächst die Eisen-

schiene *S* durch magnetische Reibung derart fest, dass sie auch dann nicht mehr abwärts gleitet, wenn sie ihren bisherigen Stützpunct an den Kohlenspitzen verliert. Dieses erfolgt fast in dem gleichen Momente, in dem der obere Pol die Eisenstange anzieht, sie um die dachförmige Kante des unteren Poles unter Ueberwindung der Feder *f* ein wenig dreht und dabei durch den Winkelhebel, den sie mit dem oberen Kohlenhalter *a* bildet, die Kohlenstifte von einander entfernt.

Fig. 145.



Siemens-Halske's Nebenlampe.

Der von einer Maschine kommende Strom geht durch die Elektromagnet-Umwindungen der Nebenlampe zum Gestell derselben und verzweigt sich da in zwei Zweige, von denen der eine durch das Kohlenstiftpaar der Nebenlampe zum untern Kohlenhalter derselben, der andere durch die Hauptlampe eben dahin und von da durch die gemeinsame Rückleitung zur Maschine führt.

Eine wirkliche Stromverzweigung findet aber nur im ersten Moment des Stromeintritts statt, da sich sofort die Kohlenstäbe des Deviators von einander entfernen; es tritt

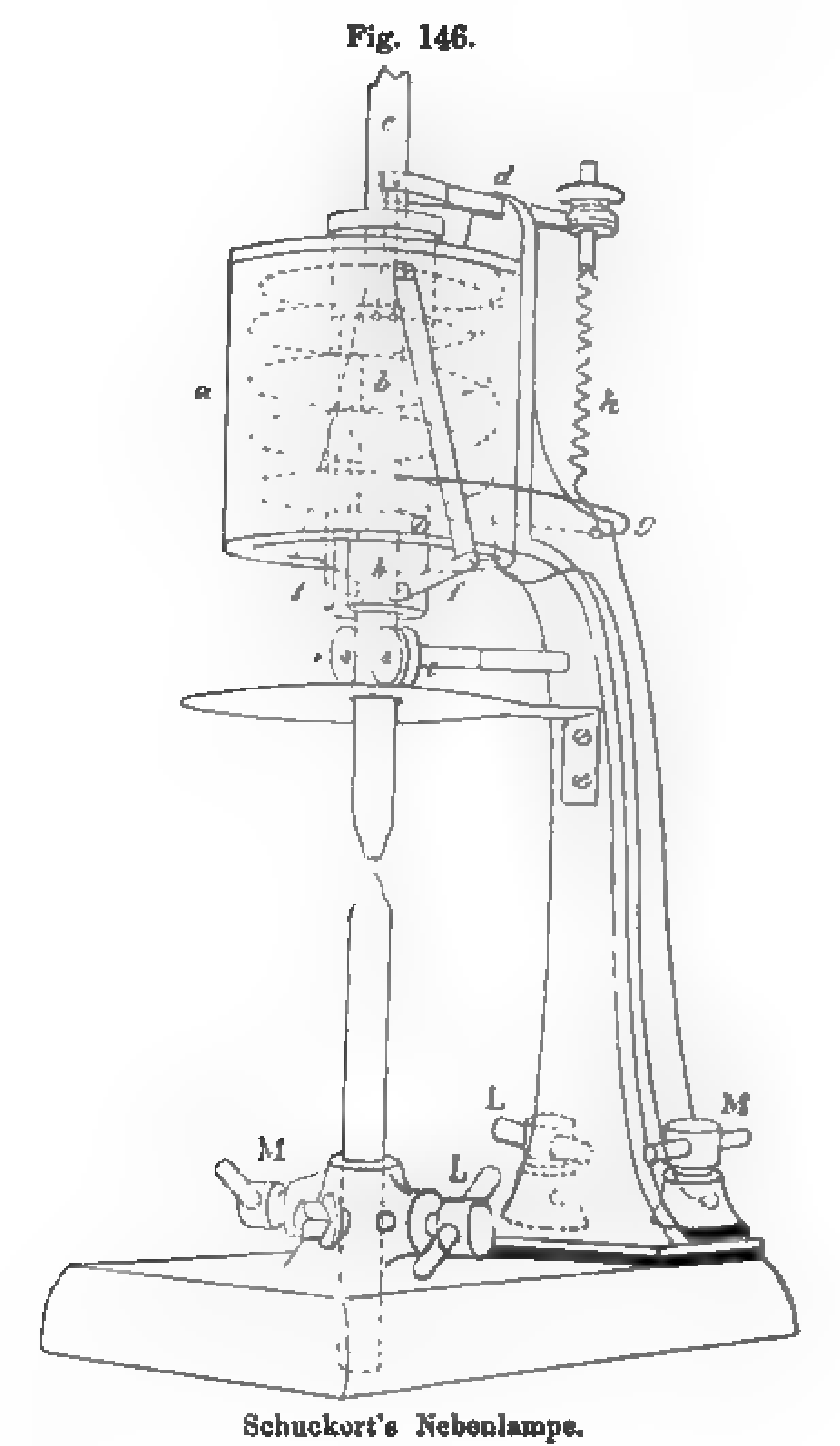
dabei kein Lichtbogen, sondern nur eine Unterbrechung dieses Stromzweiges ein, weil der andere Zweig durch die langsamer arbeitende Hauptlampe an den sich berührenden Kohlenstiften noch kurz geschlossen ist und die Entstehung eines Lichtbogens an der Nebenlampe verhindert.

Es geht also der ganze Strom durch die Hauptlampe und setzt diese in Thätigkeit, als ob die Nebenlampe nicht vorhanden wäre. Erlischt aber einmal durch irgend welchen Umstand das Licht der Hauptlampe, so hört der ganze Strom auf; der Elektromagnet der Nebenlampe lässt die Eisenschiene fallen, und diese arbeitet dann sofort als elektrische Lampe in ihrem Stromzweige. Kommen dann die Spitzen der Hauptlampe durch deren Mechanismus wieder in vorübergehenden Contact, so macht dieser den Lichtbogen an der Nebenlampe wieder erlöschen, ohne eine Bewegung an derselben zu veranlassen. Der erloschene Lichtbogen hinterlässt aber eine Unterbrechung des Nebenzweiges und die Hauptlampe tritt wieder allein in Function.“

Späterhin construirte *Schuckert* zu der *Dornfeld*'schen Lampe eine Nebenlampe, welche im Princip mit der des Herrn *v. Hefner-Alteneck* übereinstimmt. Sie beruht auf demselben eigenthümlich verzweigten Stromlaufe; auch ist die Wirkungsweise wiederum die, dass die positive Kohle, wenn kein Strom vorhanden ist, auf der unteren negativen Kohle aufliegt, und von der letzteren hinreichend gehoben wird, sobald die Spirale ein genügend starker Strom durchfliesst. Die Befestigung der Kohle geschieht aber durch mechanische Klemmung. Sie geht nämlich durch einen in dem Solenoid *a* frei beweglichen getheilten Anker *b b*; die beiden Ankerhälften hängen oben mit schwach nach innen federnden Drähten an dem Bügel *d* und sind unten bei den Drehpuncten *e e* mit den Gelenkarmen *f f* in Verbindung, deren oberen Theile von der Feder *g* gegen einen Anschlag angedrückt werden. *i i* sind kupferne Gleitstücke, welche,

durch eine schwache Feder leicht an die Kohle angedrückt, den Stromcontact vermitteln helfen. Sobald anfänglich das

Fig. 146.



Schuckert's Nebenlampe.

Solenoid *i* vom Strome durchflossen wird, wird der Anker in dasselbe hineingezogen; in Folge dessen drücken die unteren Gelenkarme durch ihre Bogenbewegung die Ankerhälften sofort an die Kohle an, und bei weiterem Hinein-

ziehen kommt die Feder g in Wirkung, welche genügenden Druck ausübt, die Kohle festzuhalten und sie mit in die Höhe zu ziehen.*)

Auf das gewaltige Material, welches zahlreiche Zeitgenossen zur weiteren Vervollkommnung, oder wenigstens zur Abänderung der beschriebenen Lampen beigetragen haben, kann leider hier nicht eingegangen werden; doch sollen wenigstens die Namen einiger Männer, welche der Construction elektrischer Lampen ihre Aufmerksamkeit und Mühe widmeten, angeführt und mit einem Vermerk begleitet werden, welches die Quelle angibt, wo die bezügliche Lampe beschrieben ist:

Le Molt [1]), *Harrison* [2]), *Way* [3]), *Lacassagne* und *Thiers* [4]), *Archereau* [5]), *Gaiffe* [6]), *Carré* [7]), *Dubos* [8]), *Girouard* [9]), *Chertemps* [10]), *Thomson* und *Houston* [11]), *Hiram Maxim* [12]), *Fuhr* [13]), *Kuhne* [14]), *Wallace Farmer* [15]), *Kuhlo* [16]), *Horn* [17]), *Sedlaczek* und *Wikulill* [18]), *Menges* [19]), *Bohm* [20]), *Godfrey* [21]), *Kröttlinger* [22]), *Hélie de Talleyrand* [23]), *Francisque Millions* [24]), *Otto Schulze* [25]), *Mackenzie* [26]), *L. Scharnweber* [27]). Auch sei hingewiesen auf das Verzeichniss der bis 1879 einschl. veröffentlichten Constructionen elektrischer Lampen, welche *Uppenborn* in der Z. f. a. E. 1880, p. 94, zusammenstellte.

---

*) Vgl. Z. f. a. E. I. 298, 314, 387, und II. 30, 68.

[1]) Die Elektrische Beleuchtung von *H. Fontaine,* p. 13. — [2]) ib. p. 14 und 22. — [3]) ib. p. 21. — [4]) ib. p. 23. — [5]) ib. p. 29. — [6]) ib. p. 30. — [7]) ib. p. 51. — [8]) ib. p. 38. — [9]) ib. p. 42. — [10]) ib. p. 50. — [11]) ib. p. 55. — [12]) ib. p. 58. — [13]) Z. f. a. E. 1879, p. 222. — [14]) ib. p. 327. — [15]) ib. p. 333. — [16]) Z. f. a. E. 1880, p. 78. — [17]) ib. p. 142. — [18]) ib. p. 147. — [19]) ib. p. 314. — [20]) ib. p. 369. — [21]) ib. p. 445. — [22]) ib. p. 437. — [23]) Z. f. a. E. 1881, p. 32. — [24]) ib. p. 98. — [25]) ib. p. 141. — [26]) ib. p. 165. — [27]) ib. p. 369.

IX. Abtheilung.

Die Theilung des elektrischen Lichtes. Nebenschluss- und Differential-Lampen.

Lampen zur Parallelschaltung.

Die Regulirung der bisher besprochenen Lampen ist abhängig von den Vorgängen im Stromkreise ausserhalb der Lampe; eine jede durch den Lichtbogen einer Lampe hervorgerufene Stromschwankung veranlasst auch den Mechanismus einer zweiten in denselben Stromkreis eingeschalteten Lampe zu unzeitiger Thätigkeit. Daher ist eine gleichzeitige Einschaltung mehrerer Lampen dieser Art in dasselbe Stromnetz nicht angängig; sollte aber die elektrische Beleuchtung mit der Gasbeleuchtung, welche dem Zwecke einer allseitigen und gleichmässigen Beleuchtung in so hohem Grade entspricht, erfolgreich concurriren können, so musste die Aufgabe, mehrere elektrische Lampen an verschiedenen Puncten eines und desselben Kreislaufes des Stromes speisen zu können, in erster Linie gelöst werden. In einem solchen Falle würde man erst die elektrische Leitung von der Lichtmaschine aus überallhin führen und an allen geeigneten Stellen eine Lampe einschalten können, deren Lichtstärke etwa nicht grösser als mehrere Gasflammen wäre. Die älteren

81. **Versuche, das elektrische Licht zu theilen,** sind in der That darauf gerichtet gewesen, den elektrischen Strom durch zwei oder mehrere Lampen zugleich hindurchzuleiten, und *Quirini* (1855) in Venedig behauptet geradezu, dass

sich eine solche Theilung mit Erfolg durchführen lasse. Dem gegenüber erklärt jedoch *Deleuil*, Mechaniker in Paris, dass er schon mehrere Jahre vorher mit einer Batterie von 80 *Bunsen*'schen Elementen die genannte Einschaltungsweise versucht, aber es nie dahin gebracht habe, drei Lampen gleichzeitig länger als fünf Minuten ohne Störung zu unterhalten. Bei einer Theilung der Batterie derart, dass statt 80 Elemente hinter einander drei einzelne Batterien à 20 Elemente in etwas anderer Schaltung mit den Lampen verbunden wurden, ergab sich, dass die Lampen mit nahezu gleicher Intensität höchstens 15 Minuten befriedigend wirkten. Die Einschaltung auch nur zweier Lampen in einen und denselben Stromkreis führt daher nicht zum Ziele, die Leuchtkraft einer elektrischen Maschine zu theilen: die Lampen, auch wenn sie durchaus nach demselben System gebaut sind, kämpfen unaufhörlich einen Kampf um's Dasein; bald leuchtet die eine in vollem Glanze und die andere erbleicht; dann gewinnt die letztere wieder die Oberhand und die erste lässt nach. Es ist nicht schwer, die Ursache dieses Misserfolges zu erkennen, wenn man bedenkt, dass der *Volta*'sche Licht- und Flammenbogen dem Durchgange des Stromes einen sehr grossen Widerstand entgegensetzt, welcher durch das Abbrennen der Kohlen bedeutend zunimmt, wenn die Regulirvorrichtung in einer der Lampen nur einen Augenblick ruht. Diese Schwankungen in den Widerständen wirken aber sofort wieder auf die Grösse der Stromstärke ein, und hieraus resultirt eine Unregelmässigkeit in der Bewegung der Kohlenspitzen, welche die beste Lampe nicht ausgleichen kann.

Nicht besser gelingen die Versuche, von den beiden Polen der stromgebenden Maschine zwei oder mehrere Drahtleitungen abzuzweigen und in jede dieser Zweigleitungen eine besondere Lampe einzuschalten. Auch in diesem Falle haben die Veränderungen in dem Widerstande des Lichtbogens einer Lampe unausgesetzte Schwankungen in den

Widerständen der anderen Lampen und damit andauernde Unregelmässigkeiten in der Stromstärke und mangelhaftes Functioniren aller Regulirvorrichtungen zur Folge.

Einen andern Weg schlug *Le Roux* (1868) ein. Er verwerthete die Beobachtung *Wartmann's*, dass der Lichtbogen nicht entsteht, wenn die Kohlenspitzen durch eine noch so kleine Schicht Luft von gewöhnlicher Temperatur von einander entfernt sind, dass er dagegen sofort von selbst wieder entsteht, auch wenn die Entfernung der beiden Kohlenspitzen fast 3 mm beträgt, wenn er einmal vorhanden gewesen ist und dann der Strom unterbrochen und wieder hergestellt wird; nur darf die Dauer der Unterbrechung nicht $^1/_8$ Secunde überschreiten. Auf Grund dieser Erfahrung construirte er eine Vorrichtung, die den Zweck hatte, das elektrische Licht einer galvanischen Batterie oder einer Alliance-Maschine zu theilen, indem er den Strom vermittelst eines schnell umlaufenden Vertheilungsrades abwechselnd bald in die eine, bald in eine zweite elektrische Lampe leitete und dafür sorgte, dass die Unterbrechung den obigen Betrag der Secunde nicht überschritt. Bei den magnet-elektrischen Alliance-Maschinen kann die Unterbrechung der Leitung je nach der Anzahl der Touren, welche die umlaufende Achse in der Minute macht, und nach der Zahl der Magnete leicht auf ein bis zwei Zehntausendstel einer Secunde gebracht werden. Es ist dieses auch der Grund, warum diese Maschinen, wie alle Lichtmaschinen mit Wechselströmen, ein ununterbrochenes Licht geben, obwohl es nach den Untersuchungen von *Jamin* und *Roger* mit rotirenden Spiegeln in Wirklichkeit discontinuirlich ist. *Le Roux* gelang es auf diese Weise, wenigstens in dem Falle, dass er nur zwei Lampen und sehr dünne Kohlenstäbchen anwandte, beide Lichter in vollkommen gleicher Stärke zu unterhalten; zu einer weiter gehenden Theilung des Lichtes aber hat er es nicht gebracht.

Mersanne (1873) änderte das Verfahren von *Le Roux* dahin ab, dass er das Vertheilungsrad durch eine horizontale Welle ersetzte, welche eine Reihe von Kämmen trug. Die Anzahl dieser Kämme entsprach der Zahl der zu speisenden Lampen. Vom positiven Pole der Batterie führte zu jeder Lampe ein Draht, während der negative Pol mit einer Anzahl von Stäben verbunden war, welche durch die Einwirkung der Kämme abwechselnd gehoben wurden. Die Stäbe tauchten in Quecksilbernäpfchen, die mit dem zweiten Kohlenstäbchen der Lampen verbunden waren. Es ist klar, dass durch eine rasche Drehung der Walze eine Stromtheilung nach dem von *Le Roux* angegebenen Princip erzielt werden kann; eine praktische Anwendung im Grossen hat aber auch diese Einrichtung nicht gefunden.

Eine bessere Methode der Theilung des elektrischen Lichtes und der gleichzeitigen Speisung mehrerer Lampen mit einer Maschine war die Ableitung von Partialströmen aus der stromerzeugenden Lichtmaschine. Wir haben gesehen, dass die Wechselstrommaschinen von *Lontin* (§. 52), *Gramme* (§. 53) und *Siemens-Halske* (§. 54) zur Zeit speciell für die Zwecke der Lichttheilung gebaut wurden und diesen Zweck dadurch erreichen, dass sie mehrere von einander unabhängige Stromsysteme liefern, von denen jedes eine Lampe unterhält.

Das Problem indessen, mehrere Lampen durch denselben Strom speisen zu können, wurde erst im Jahre 1879 gelöst, wo es gelang, von der im §. 12 besprochenen Stromtheilung behufs Regulirung elektrischer Lampen eine glückliche Anwendung zu machen, nach welcher die Lampen gewissermaassen von einander isolirt und von der allen gemeinschaftlichen Hauptleitung möglichst unabhängig gemacht werden.

Denken wir uns (Fig. 29) in dem Zweigdrahte $a\ s_2\ b$ einen grossen Widerstand und in dem andern $a\ s_1\ b$ eine Lampe mit

regulirbarem Lichtbogen eingeschaltet, so wird in dem Augenblicke, wo die Kohlenspitzen in den Lampen zusammenlaufen, der Widerstand w_1 in diesem Zweige sehr gering sein im Verhältnisse zu dem künstlichen grossen Widerstande des Drahtes $a\,s_2\,b$. Der grössere Theil des Stromes S geht dann durch die Lampe, der kleinere durch den künstlichen Widerstand $a\,s_2\,b$, doch so, dass hinter der Stromverzweigung von b aus der ganze Strom S durch die Leitung zu den folgenden etwa noch eingeschalteten Lampen weiter geht. Wie sich nun auch in Folge des Abbrennens der Kohlen der Lichtbogen und damit der Widerstand in der Lampe vergrössern mag, so hat dieses doch auf die Grösse des bei b wieder austretenden Stromes S so lange keinen Einfluss, als der volle bei a eintretende Strom über den andern Zweig $a\,s_2\,b$ ungehindert abfliessen kann, ohne sich dabei theilweise in Wärme umzusetzen. Die Ungleichheiten in den Widerständen und Stromstärken der beiden Drahtzweige gleichen sich innerhalb der Verzweigung zwischen a und b aus, so dass unter der angeführten Bedingung die Leitungsströme beim Eintritt in die Schleife bei a und beim Austritt aus derselben bei b dieselbe Stärke haben, und daher eine in einer solchen Schleife eingeschaltete Lampe durch ihre Regulirung keinen erheblichen Einfluss auf die in gleichen Schleifen derselben Leitung befindlichen anderen Lampen ausüben kann.

Aehnliches gilt auch, wenn statt der Lampen mit Lichtbogen Kohlenstäbchen, Platinspiralen oder überhaupt mehrere Glühlicht-(Incandescenz)-Lampen (cf. Abth. XI) hintereinander in die Leitung eingeschaltet werden; das Abbrennen oder Schmelzen einer solchen glühenden Platinspirale führt keineswegs das Verlöschen aller anderen in derselben Leitung befindlichen Spiralen herbei, weil der Strom in derjenigen Lampe, wo das Abschmelzen stattfindet, seinen Umweg durch den nicht abgebrannten Drahtzweig nimmt. Findet

in einem solchen Zweigdrahte eine gänzliche Unterbrechung der Leitung statt, z. B. beim zufälligen Erlöschen des Lichtbogens in einer Lampe oder beim Abschmelzen einer Platinspirale, so wird der Gesammtwiderstand in der Schleife grösser, als er früher war, wo beide Zweigdrähte noch den Strom leiteten. Der Strom in der ganzen Leitung wird dadurch geschwächt, aber die Leitung selbst nicht unterbrochen.

82. Die ersten Anwendungen der Stromverzweigung in der elektrischen Beleuchtung. Die Ersten, welche von der Stromtheilung behufs Regulirung einer elektrischen Lampe Anwendung gemacht haben, scheinen *Lacassagne* und *Thiers* in Lyon gewesen zu sein. Im Jahre 1855 construirten sie eine Kohlenlicht-Lampe, in welcher das Nachschieben des einen Kohlenhalters dadurch bewirkt wurde, dass letzterer mit dem Kolben eines verticalen eisernen Cylinders in Verbindung stand und in dem Maasse, als der Lichtbogen sich durch das Abbrennen der Kohlen vergrösserte, aus einem höher gestellten Reservoir Quecksilber unter Druck in den genannten Cylinder unterhalb des Kolbens einströmte und den Kolben mit dem Kohlenhalter in die Höhe schob. Der Zufluss dieses Quecksilbers durch den Verbindungsschlauch wurde durch zwei Elektromagnete und deren Anker regulirt, welche vermittelst eines Hebels auf den Schlauch drückten und seinen Querschnitt und damit den Zufluss des Quecksilbers selbst je nach dem Grade des ausgeübten Druckes veränderten.

Der eine Elektromagnet (I) war in den Hauptstrom eingeschaltet, welcher durch die beiden Kohlen ging und den Lichtbogen erzeugte; der zweite Elektromagnet (II) befand sich in einer vom Hauptstrome abgezweigten, aus zwei Rollen dünnen Eisendrahtes bestehenden Zweigleitung von grossem Widerstande, durch welche der das Licht gebende Hauptstrom nicht passirte. Sobald durch Oeffnen eines Hahns das Quecksilber des obern Reservoirs unter den Kolben

des tiefer stehenden eisernen Cylinders durch den Verbindungsschlauch einströmte, wurde der Stromkreis geschlossen, der Anker des Elektromagnets I kräftig angezogen und der Schlauch so stark zusammengedrückt, dass kein Quecksilber überfloss. Es mussten nun die Kohlen zunächst mit der Hand so weit auseinandergerückt werden, dass sich der Lichtbogen bildete. Sobald derselbe die durch eine Regulirschraube zu fixirende Länge erreicht hatte, wurde der Hauptstrom schwächer, der Zweigstrom des Elektromagnets II dem entsprechend stärker, der Anker im Zweigstrom ebenfalls kräftiger angezogen und vermittelst des Hebels der Schlauch wieder so weit geöffnet, dass das Quecksilber sofort wieder überströmte und den Kolben sammt Kohlenhalter wieder hob. Damit aber erreichte der Elektromagnet I wieder seine volle Anziehungskraft und das Spiel wiederholte sich so lange, bis die Kohlen verbrannt waren.

Die vorstehende Lampe regulirte ungemein regelmässig und empfindlich, so dass kein Zucken des Lichtes wahrnehmbar war; im Uebrigen litt sie an manchen Mängeln der Construction und besonders daran, dass man für die erste Entstehung des Lichtbogens die Kohlen mit der Hand von einander trennen musste. An eine Benutzung der Stromverzweigung zum Zwecke der Lichttheilung schienen die Lyoner Chemiker nicht gedacht zu haben; die in den beiden Drahtzweigen eingeschalteten Elektromagnete dienten nur dazu, den Lichtbogen zu reguliren, wobei der Magnet I an die Stelle der in den neueren Lampen vorkommenden und der Wirkung des Regulir-Elektromagnets entgegenwirkenden Feder trat.

Der Erste, der die Zweigströme dazu anwandte, das durch den elektrischen Strom erzeugte Licht zu theilen, ist *de Changy* (Belgien). Das Licht wurde durch Glühen von Platinspiralen erzeugt (Glüh- oder Incandescenz-Licht s. XI.), welche an verschiedenen Stellen der Leitung eingeschaltet

waren und das Abschmelzen derselben durch eine an jeder Spirale angebrachte, den Strom vertheilende Zweigleitung verhütet. In dem belgischen Patente hierüber heisst es ungefähr folgendermaassen: Nach einer Arbeit, welche der Erfinder seit 1852 über die elektrische Beleuchtung durch Glühen von unvollkommenen Leitern und namentlich von Platindrähten so wie über die Möglichkeit, den Strom einer Stromquelle zu theilen, unternommen hatte, ist er nach zahlreichen Versuchen zu der Ueberzeugung gelangt, dass diese Theilung nach einem Verfahren möglich ist, das auf folgendem Princip beruht. In dem Hauptstrome befindet sich ein Elektromagnet, dessen Windungen von dem Strome durchlaufen werden. Der aus diesen Windungen austretende Strom endigt im Drehpuncte des Ankers, von wo aus sich der Strom verzweigt einerseits zu der Klemme der Platinspirale, die weissglühend gemacht werden soll, und andererseits zur Fortsetzung der Hauptleitung, wobei eine regulirbare Spannfeder den Anker stets vom Magnete in einer bestimmten Entfernung zu halten sucht. Sobald der durch die Platinspirale gehende Zweigstrom einen bestimmten Grad erreicht, dessen Ueberschreiten das Abschmelzen derselben zur Folge haben könnte, zieht der Elektromagnet seinen Anker an und unterbricht die Zweigleitung zur Spirale, wobei jedoch der Hauptstrom nicht unterbrochen wird und vom Drehpuncte des Ankers aus zur Hauptleitung weiter geht. Auf diese Weise lässt sich der Hauptstrom an beliebig vielen Stellen theilen, indem man zugleich im Verhältnisse zu der Anzahl dieser Theilpuncte, d. h. der glühend zu machenden Spiralen, den Strom verstärkt. Das Durchbrennen einer oder mehrerer Spiralen bleibt ohne störenden Einfluss auf die anderen, und man kann zum Zwecke dieser Regulirung entweder Elektromagnete und Anker oder Solenoide und Eisenkerne anwenden. Im Grunde beruht also die Möglichkeit der Theilung des Stromes nach *de Changy*

darauf, dass es dem Strome gestattet ist, einen der leuchtenden Brenner zu überspringen, wenn er ein bestimmtes durch Regulirung festgesetztes Maximum der Intensität erreicht hat.

Seit diesen ersten Anfängen der Benutzung von Zweigströmen zur Regulirung und zur Theilung des elektrischen Lichtes sind die hervorragendsten Elektriker bemüht gewesen, die einzelnen Regulirungs-Mechanismen zu vervollkommnen und zugleich die Widerstände der Zweige, in welche sich die Hauptleitung bei jedem Lichte theilt, richtig zu bemessen, wobei vor Allem ins Auge zu fassen ist, dass, wenn unter den in der Leitung befindlichen Lichtern eines erlischt und die Leitung in dem Lichtapparate unterbrochen ist, dem Hauptstrome immer noch ein anderer Zweig der Leitung zur Verfügung stehe, auf welchem er zu den folgenden Lichtern weiter fliessen kann. Dieses Princip bleibt immer dasselbe, ob man für die Regulirung des Lichtes Elektromagnete mit Ankern und regulirbaren Abreissfedern, oder Solenoide mit einziehbaren Eisenkernen, oder beide Vorrichtungen zugleich anwendet. Die Einrichtung gestaltet sich etwas verschieden, je nachdem man Lampen mit variabeln Lichtbogen oder Glühlichtlampen, und zu ihrem Betriebe continuirliche oder Wechselströme anwendet. Nachdem schon früher *Dr. W. Siemens* einige Lampen hatte patentiren lassen, denen das Princip der Nebenschliessungen des Lichtbogens zur Regulirung desselben zu Grunde lag, und eine solche Lampe im Jahre 1873 auf der Welt-Ausstellung zu Wien ausgestellt hatte, gelang es 1878 fast gleichzeitig *Lontin*, *Mersanne* und *Fontaine* in Paris, das genannte Princip zur Regulirung und zur Theilung des Lichtbogens einer einzigen Stromquelle anzuwenden und somit mehrere Lampen derart in einer einzigen Leitung in Betrieb zu halten, dass keine durch ihre Regulirung störend auf die anderen einwirkte. In der neuesten Zeit haben

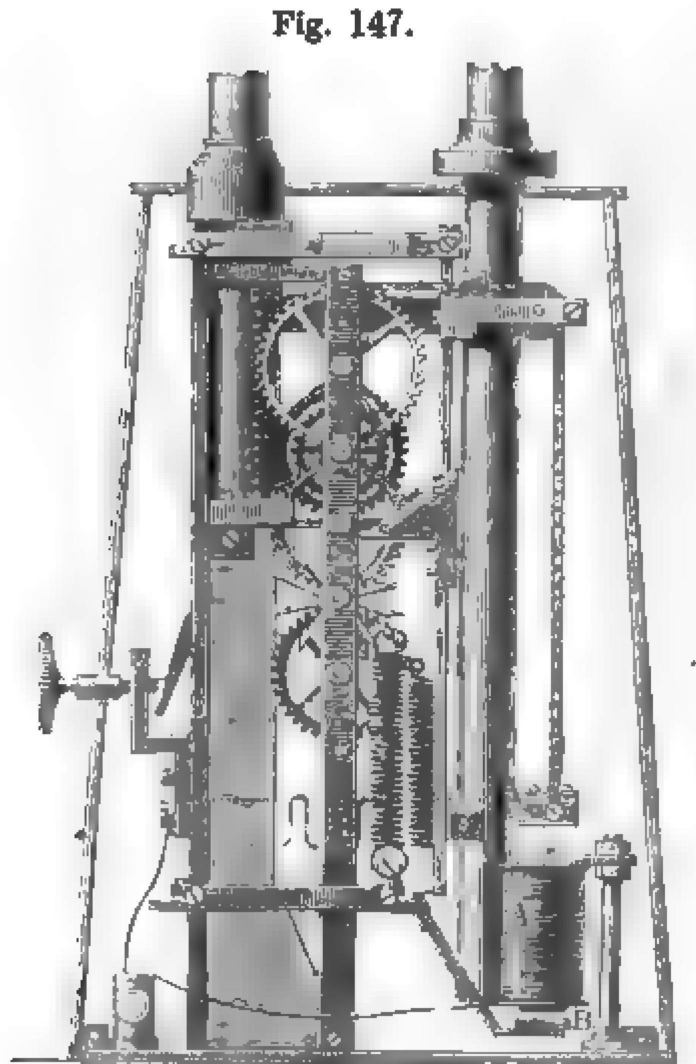
v. Hefner-Alteneck, der rühmlichst bekannte Chef des Constructions-Bureaus der Firma *Siemens & Halske* in Berlin, durch Einführung einer neuen eigenthümlichen Differential-Einwirkung von zwei Zweigströmen sowie *Krizik* und *Piette* durch wesentliche Vereinfachung des Lampen-Mechanismus überhaupt das lange gesuchte Problem der Theilung des elektrischen Lichtbogens in einer so vollkommenen Weise gelösst, dass nun wohl in der weiteren Verbesserung der elektrischen Lampen für einige Zeit ein Stillstand eintreten dürfte. In dem Nachstehenden werden wir die wichtigeren Theile der genannten Lampen der Reihe nach besprechen, und dabei zwischen Differential- und Nebenschluss-Lampen unterscheiden, je nachdem in demselben lediglich die reine Differenz zweier Zweigströme oder aber ausser der erwähnten Differenz eine weitere, etwa eine Feder oder Schwerkraft zur Wirkung kommt.

I. Nebenschluss-Lampen.

Das Wesentliche derselben ist die Art und Weise, wie die beiden Zweigströme, in welche sich bei jeder Lampe der Hauptstrom vertheilt, zur Regulirung des Lichtbogens benutzt werden. Der eine dieser Ströme (der Lichtstrom) geht durch die beiden Kohlen, der andere umgeht die Kohlen und geht durch die Umwindungen eines Elektromagnets oder eines Solenoids. Beide bestehen aus einer hinreichend grossen Anzahl von Windungen eines dünnen Drahtes, die dem Strome einen sehr grossen Widerstand darbieten. Der Anker des Elektromagnets oder der Eisenstab des Solenoids halten, so lange sie nicht angezogen werden, den zur Annäherung der beiden Kohlen dienenden Mechanismus in Ruhe. So lange die Kohlenspitzen die zur Bildung des Lichtbogens erforderliche richtige Entfernung haben, geht der Strom durch die Kohlen, und nur ein verschwindender Theil desselben geht wegen des sehr grossen Widerstandes durch den

Elektromagnet, der davon weiter nicht afficirt wird; wenn aber der Lichtbogen grösser wird, wächst sein Widerstand; der durch die Kohlen gehende Strom wird nun schwächer und in gleichem Maasse wird der um den Elektromagnet gehende Zweigstrom stärker, bis dieser endlich den Magnet in Thätigkeit versetzt und der Anker angezogen wird. Der Bewegungs-Mechanismus für die Kohlen wird hierdurch ausgelöst und bringt die letzteren wieder einander so nahe, als es für die Erhaltung des Lichtbogens erforderlich ist. Wenn dieses geschehen ist, geht der Hauptstrom wieder wegen des kleiner gewordenen Widerstandes der Kohlen durch diese letzteren; der Elektromagnet des Nebenzweiges verliert seine Kraft, der Anker fällt ab und sperrt den Bewegungs-Mechanismus für die Kohlen von Neuem.

Fig. 147.



Elektrische Lampe von Lontin.

Dieses Princip des Zweigstromes lässt sich auf alle Lampen anwenden, welche die Entfernung der Kohlenspitzen selbstthätig bewirken. Die Figur zeigt eine solche von *Lontin* angegebene Einrichtung für die *Serrin*'sche Lampe. (Fig. 138, S. 356.)

83. Die Nebenschluss-Lampe von Serrin-Lontin. Ein Vergleich der Fig. 147 und Fig. 138 lässt den Bewegungs-Mechanismus der Kohlen und den Elektromagnet so wie die

Unterschiede beider Lampen sofort erkennen. Der Strom, welcher in die Klemme links eintritt, spaltet sich hier in zwei Zweige, von denen der eine durch die beiden Kohlen und dann zur Austrittsklemme, der andere aber sich nach dem Elektromagnet und zu derselben Austrittsklemme abzweigt. Zuerst, wenn der Strom in die Lampe eingelassen wird und die Kohlen sich noch nicht berühren, geht der ganze Strom durch den Elektromagnet: der Anker wird angezogen, der dreieckig geformte Sperrzahn gehoben und das Sternrad frei gemacht. Der obere Kohlenhalter kann nun herabsinken und das Räderwerk in Bewegung setzen. Die Kohlenspitzen nähern sich und kommen zur Berührung. Sofort geht nun der grösste Theil des Stromes durch die Kohlen und nur ein kleiner Theil desselben passirt noch den Elektromagnet, zu klein, um den Anker angezogen zu halten. Derselbe fällt ab und zieht die Balance mit dem Sperrzahn, zugleich aber auch den untern Kohlenhalter herab. Die Kohlenspitzen entfernen sich von einander, und es entzündet sich der Lichtbogen, während zugleich das Räderwerk durch den herabgezogenen Sperrzahn arretirt wird und so lange still stehen bleibt, bis durch das Abbrennen der Kohlen der Lichtbogen einen zu grossen Widerstand bekommt, der Zweigstrom des Elektromagnets überwiegt, der Anker von Neuem angezogen wird, der Sperrzahn in die Höhe geht und das Laufwerk wieder in Bewegung tritt.

Die Empfindlichkeit der Lampe mit der Stromtheilung von *Lontin* ist bedeutend grösser, als bei dem gewöhnlichen *Serrin*'schen Apparate. Gleiches ist bei der

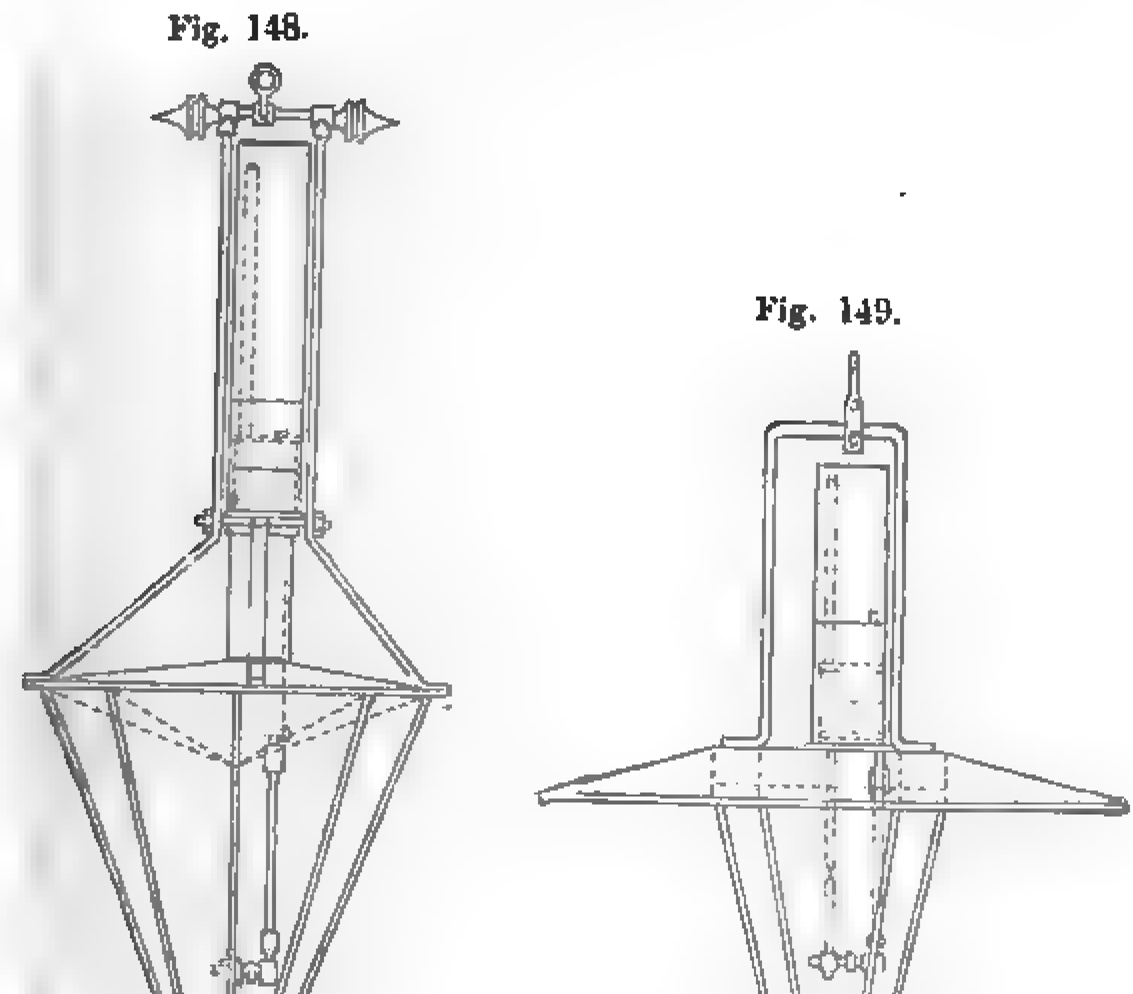
84. Crompton'schen Lampe, (§. 75, Fig. 136), der Fall, wenn man die *Feder l* durch einen kleinen Elektromagnet mit sehr feinem Draht und hohem Widerstand ersetzt und dessen Drahtenden mit den Hauptleitungsdrähten da verbindet, wo sie in die Lampe eintreten und diese verlassen. Hierbei theilt sich der Strom in zwei Zweige, von

denen der eine die eigentliche Leitung, der andere den Nebenschluss bildet; mag sich auch das Verhältniss der Stromstärken in den beiden Zweigen ändern, so hat der Strom doch beim Austritt aus der Lampe dieselbe Stärke wie beim Eintritte. Damit regulirt sich jede Lampe unabhängig von der andern; ein hoher Bogenwiderstand lässt die Anziehung des oberen kleineren Elektromagnets überwiegen, so dass das Stück *h* gehoben wird und die obere Kohle sinken kann; bei einem geringen Bogenwiderstand geht der Strom hauptsächlich durch den unteren Elektromagnet, dessen Stärke die Platte *h* anzieht und somit den oberen Kohlenhalter arretirt. Durch zahlreiche Versuche ist bereits constatirt, dass die *Crompton*'sche Lampe sehr gut arbeitet: es bewirkt zwar, wie schon erwähnt wurde, die Anwendung von Elektromagneten im Allgemeinen keine so ruhige und schöne Regulirung, wie sie durch Solenoide erfolgt; reducirt man aber, gleich *Crompton*, den Ankerhub auf ein Minimum, so reichen schon geringe Aenderungen des Verhältnisses, Stromstärke in der Hauptleitung zur Stromstärke im Nebenschlusse, hin, um die Ankerstellung zu verändern. Wesentlich ist auch bei der *Crompton*'schen Lampe das geringe Gewicht des Stückes *h*, so dass die Lampe von den geringen Aenderungen der Stromstärke, wie sie beim Betrieb vorkommen, unabhängig und daher für getheiltes Licht verwendbar ist.

Crompton construirte auch zu seiner Lampe mehrere Laternen; Fig. 148 stellt eine solche dar, welche zum Aufhängen an den Raaen beim Verladen der Schiffe, oder zur Benutzung in den Schachten von Bergwerken geeignet ist; Fig. 149 zeigt eine grosse Laterne, wie sie bei der Beleuchtung der Halle der St. Enoch-Station in Glasgow benutzt wird. Diese besitzt einen achteckigen Reflector aus Spiegelglas, jene einen emaillirten weissen Reflector. Zahlreich sind bereits die Installationen, welche *Crompton* mit der

Bürgin'schen Maschine und seiner Lampe getroffen hat und allerseits hört man über dieselben nur günstige Urtheile.[1]) Gleiches ist der Fall mit den Installationen, welche *Bürgin* mit den nach ihm benannten Maschinen und Lampen trifft.

Fig. 148. Fig. 149.



Crompton's Laternen.

Sollen mehrere *Bürgin*'sche Lampen in einen Stromkreis geschaltet werden, so genügt eine kleine Aenderung mit der in §. 76 beschriebenen Lampe. Will man nämlich

85. Die Bürgin'sche Lampe zur Nebenschlusslampe machen, so leite man die Drähte der Elektromagnete einfach so, dass der bei der +Klemme eintretende Strom sich in zwei Zweige theilt, von denen der eine zu den Umwindungsdrähten der Elektromagnete E und E_1, den beiden Kohlen und dann zur negativen Klemme, der andere aber nur zu dem Um-

[1]) Vgl. L'Ingénieur 1881, Nr. 8, p. 149.

windungsdrahte des Ankers A und dann sofort wieder zur negativen Klemme führt. Auch muss die Spule des Ankers so in den Nebenschluss geschaltet sein, dass die gegenüberliegenden Pole der Elektromagnete und des Ankers gleichnamige sind, wenn ein Strom die Armatur A umfliesst, dessen Stärke hinreicht, den Kern magnetisch zu erregen. Dieses geschieht, wenn der Strom bei zu grossem Widerstande der Hauptleitung, d. h. zu grosser Weite des Lichtbogens den Nebenschluss passiren muss. Andernfalls ist der Kern der Armatur fast unmagnetisch. Daher erklärt sich Folgendes.

Im gewöhnlichen liegt der Anker A möglichst tief und die Kohlen berühren sich. Sowie daher die Lampe in einen Strom geschaltet wird, durchfliesst dieser hauptsächlich den die Elektromagnete E und E_1 fassenden Zweig und erregt diese so sehr, dass dieselben den Anker A emporziehen und dadurch auch die Kohlen von einander trennen. So lange der Lichtbogen eine normale Weite hat, sind die Elektromagnete E und E_1 stark genug erregt, den Anker A in der Höhe zu halten; sowie aber der Lichtbogen an Grösse wächst und grösseren Widerstand darbietet, wird der Strom in dem Hauptzweige ab- und derjenige in dem Nebenzweige zunehmen, so dass die Enden der Armatur A zu stärkeren Polen und daher von den gleichnamigen gegenüberliegenden Polen der Elektromagnete E und E_1 abgestossen werden. Somit sinkt die Armatur A und das Rad R; dieses, nicht mehr gebremst, folgt nunmehr der Bewegung des Kohlenhalters, welcher durch sein eigenes Gewicht und dasjenige der oberen Kohle hinabgleitet. Dadurch nähern sich die beiden Kohlen; die Folge davon ist, dass die Stromstärke in dem Hauptzweige wieder zu- und diejenige in dem Nebenzweige abnimmt. Es ziehen wiederum die Elektromagnete E und E_1 die Armatur A und mit ihr das Rad R in die Höhe, welch' letzteres dadurch gebremst wird u. s. w. In dieser Weise functionirt die Lampe weiter; die Regulirung des Licht-

bogens soll in sehr exacter Weise erfolgen, wodurch mehrere Lampen mit grösster Ruhe in demselben Stromkreise brennen.

86. Die Lampe von Mersanne[1]) ist für eine Brennzeit von 16 Stunden construirt und unterscheidet sich daher von den anderen Lampen hauptsächlich in der Führung der 75 cm langen Kohlenstäbe, die nicht in besonderen Kohlenhaltern befestigt sind, sondern durch zwei Gleitbüchsen geführt werden, in denen sie zwischen Frictionsrollen frei hindurchgehen. Das Uhrwerk, welches durch mehrere Uebertragungen sowohl auf die beweglichen Büchsen als auch auf die in ihnen enthaltenen Gleitrollen einwirkt, braucht 36 Stunden, um während des langsamen Entgegenrückens der Kohlen abzulaufen.

Auch hier hat der durch die Kohlen gehende Hauptstrom eine Abzweigung, in welcher sich zwei Elektromagnete befinden; der eine von ihnen dient dazu, die Kohlen von einander zu trennen, wenn sie zusammenlaufen; der andere bewirkt die genaue Einstellung der beiden Gleitbüchsen derart, dass die Kohlenstäbe stets genau vertical übereinander stehen.

Wenn die Lampe nicht in Thätigkeit ist, sind die Kohlenspitzen gewöhnlich von einander entfernt; wenn nun die Lampe geht, treten beide Elektromagnete in Wirksamkeit, weil der ganze Strom durch den Zweigdraht geht. Der eine Elektromagnet zieht seinen Anker an und trennt die inzwischen durch das Uhrwerk zusammengeführten Kohlenspitzen von einander, so dass der Lichtbogen entsteht; der andere regulirt das Uhrwerk, so dass auch bei verschiedenen Stromstärken der Lichtbogen stets die richtige Länge behält. Sobald letzterer hergestellt ist, verlässt der Strom die Zweigleitung fast ganz und geht zum grössten Theile durch die Kohlen, welche ihm einen weit geringeren Widerstand

---

[1]) Vgl. *du Moncel,* l'Éclairage électrique, p. 170.

entgegensetzen, als die feinen Drähte um die Elektromagnete. Umgekehrt verlässt der Strom zum grossen Theile den Zweig der Kohlen, wenn der Lichtbogen anfängt zu gross zu werden; der Strom des andern Zweiges nimmt an Intensität zu, der Elektromagnet des Uhrwerks tritt wieder in Wirksamkeit und löst das Laufwerk, die Kohlen nähern sich wieder u. s. w.

Die Lampen von *Mersanne*, die sowohl für fixe Lichtbogen wie für solche, welche durch das Abbrennen der Kohlen immer tiefer rücken, construirt werden, wirken sehr regelmässig 16 Stunden lang, ohne dass während dieser Zeit ein Einsetzen neuer Kohlen nöthig ist. Vor einiger Zeit wurden sie in Paris zur öffentlichen Beleuchtung mehrfach angewandt.

87. **Die Lampe von Fontaine** ist speciel für die elektrische Beleuchtung grosser Plätze, von Hallen und grossen Fabrikräumen, überhaupt für solche industrielle Zwecke construirt, bei denen ein fixer Lichtbogen nicht erforderlich ist. Ihre wesentlichen Theile sind in Fig. 150 abgebildet.

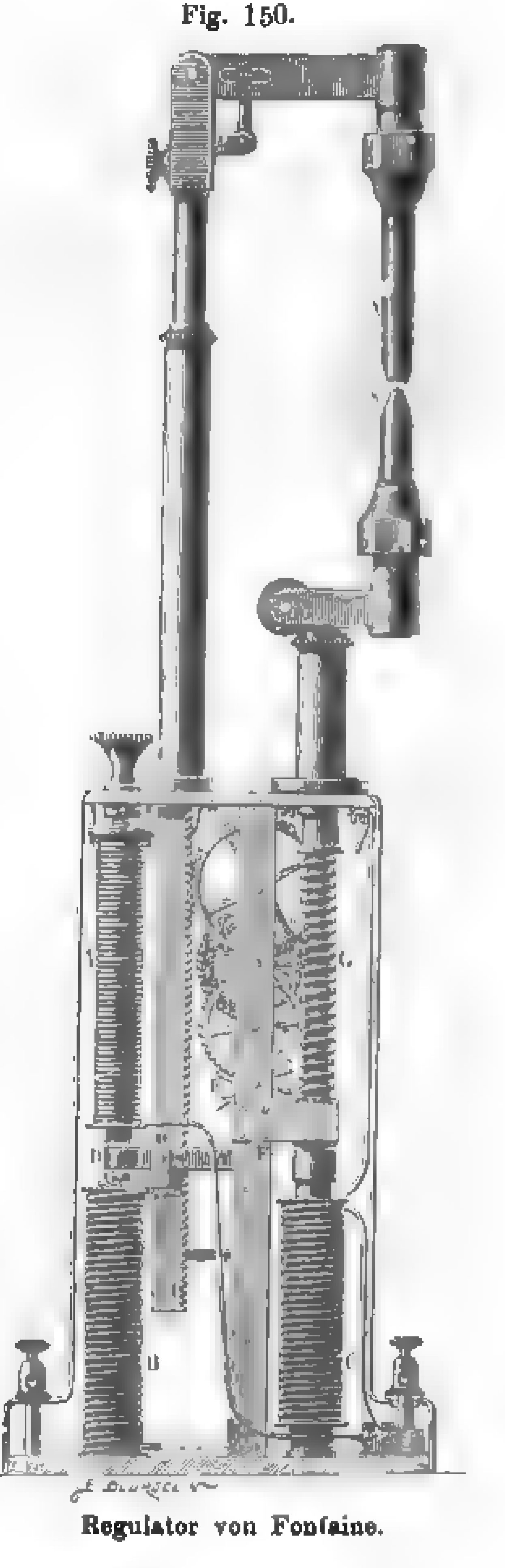
Der Regulirungs-Mechanismus besteht aus drei Elektromagneten *A B C*, einem oscillirenden verlängerten Anker *D*, einigen durch das Uebergewicht des obern positiven Kohlenhalters in Bewegung zu setzenden Zahnrädern nebst Gesperre und einer auf den Anker von *C* wirkenden Spiralfeder *G*.

Die bei der rechtsseitigen Klemme in die Lampe eintretende Leitung verzweigt sich innerhalb derselben in drei Zweige. In einem dieser Zweige, der nicht durch den Lichtbogen geht, befindet sich der Elektromagnet *A*; der Elektromagnet *B* befindet sich dagegen in einem zweiten Zweige (punctirt gezeichnet), der den Lichtbogen passirt, während der Hauptzweig, der ebenfalls durch den Lichtbogen geht, den Elektromagnet *C* enthält.

Der Anker von *C* ist mit dem unteren Kohlenhalter fest verbunden und wird in der Ruhe durch die kräftige Spiralfeder *G* von dem Magnetpol entfernt gehalten. Kommt

der Magnet C zur Wirkung, so wird der Anker an- und damit die untere negative Kohle herabgezogen; dabei ist die Feder G so kräftig, dass sie die obere Kohle vermittelst des Räderwerks mit in die Höhe hebt. Dieser Vorgang tritt ein, wenn sich die Kohlen während ihres Ganges berühren, und dient zur anfänglichen Erzeugung des Lichtbogens.

Fig. 150.



Regulator von Fontaine.

Der Ankerhebel D schwingt um die Achse O; er trägt einen kleinen Sperrzahn F, welcher die Bewegung des Windflügels hemmt, wenn die Anziehung von B die von A überwiegt.

Die untere (negative) Kohle hat, wie man sieht, nur die zur anfänglichen Bildung des Lichtbogens erforderliche kleine Bewegung, bleibt aber sonst während der Thätigkeit der Lampe stehen, so dass der Lichtbogen sich nicht an derselben Stelle des Raumes erhält, sondern nach und nach immer tiefer zu stehen kommt. Dieser Umstand ist jedoch für die oben bezeichneten Zwecke der Beleuchtung nicht von

Nachtheil, da das Herabsinken des Lichtes nicht über 8cm beträgt.

Bei dem ersten Eintreten eines Stromes in die Lampe geht, wenn die Kohlen sich noch nicht berühren, der Hauptstrom durch den Elektromagnet *A* und wegen des sehr grossen Widerstandes in dem punctirt gezeichneten Zweige nur ein kleiner Theil durch *B*. Der Anker *D* wird daher von *A* angezogen, der Sperrzahn *F* geht herunter und lässt das Räderwerk frei. Unter dem Uebergewichte des obern Kohlenhalters setzt sich letzteres in Bewegung und die Kohlen laufen bis zur Berührung zusammen.

In dem Augenblick, wo diese Berührung Statt findet, theilt sich der Strom zwischen *C*, *A* und *B*. Der Strom in *A* nimmt ab und *B* tritt in Wirksamkeit; der Anker *D* fällt ab und wird von *B* herabgezogen; damit hebt sich der Sperrzahn *F* und hemmt die Bewegung der Räder und der Kohlen. Der Elektromagnet *C* tritt ebenfalls in Wirksamkeit, zieht den Anker und damit den untern Kohlenhalter um einige Millimeter herunter, so dass sich der Lichtbogen bilden kann. Ueberschreitet in Folge der Verbrennung der Kohlen der Lichtbogen eine bestimmte Grenze, so nimmt die Stärke des durch den Lichtbogen und durch *B* gehenden Stromes ab, während gleichzeitig die Stärkung des durch *A* gehenden Zweigstroms zunimmt, bis der Moment kommt, wo die Anziehung von *A* die von *B* überwiegt, der Zahn *F* wieder herabgeht und das Räderwerk wieder frei wird; der obere Kohlenhalter setzt nun dieses wieder in Bewegung und bringt die Kohlen wieder näher an einander. Aber eben hierdurch wächst wieder der durch *B* und den Lichtbogen gehende Zweigstrom, so dass die Anziehung von *B* die von *A* überwiegt, der Anker *D* von *B* angezogen, der Sperrzahn gehoben und das Laufwerk arretirt wird.

Die Regulirung der Lampe erfolgt dadurch, dass man mittelst einer auf dem obern Deckel angebrachten Schraube

den Elektromagnet *A* mehr oder weniger dem zwischen *A* und *B* schwebenden Anker nähert.

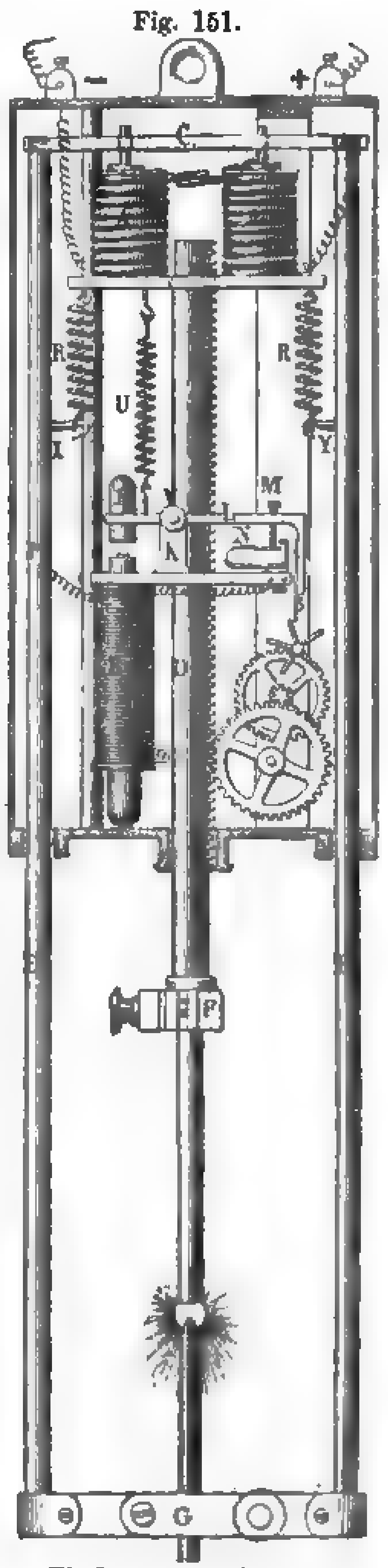
Wie in der Lampe von *Lontin* hat dieses System den Vortheil, dass es die Möglichkeit bietet, die Stromstärke innerhalb gewisser Grenzen variiren zu können, ohne dadurch das regelmässige Arbeiten der Lampe zu beeinflussen. Eben hierdurch wird es auch möglich, mehrere Lampen hintereinander in einen und denselben Stromkreis einzuschalten, ohne dass das Reguliren in der einen Lampe einen erheblichen Einfluss auf die übrigen ausübe.

Gleiches ist der Fall bei der

88. Elektrischen Lampe für getheiltes Licht von Gramme. Diese Lampe enthält zwei Elektromagnete, von denen der eine in der Hauptleitung liegt und die Kohlenstäbe um eine gewisse Länge trennt, der andere aber in einer Nebenschliessung liegt und ein Räderwerk auslöst, sobald er seinen Anker anzieht.

Die Einrichtung der Lampe ist aus Fig. 151 leicht zu erkennen. In dem cylindrischen Gehäuse, welches das ganze Werk einschliesst, ist der Elektromagnet *A* auf einer Platte befestigt; sein Anker *C* verbindet die beiden obern Enden

Fig. 151.



El. Lampe von Gramme.

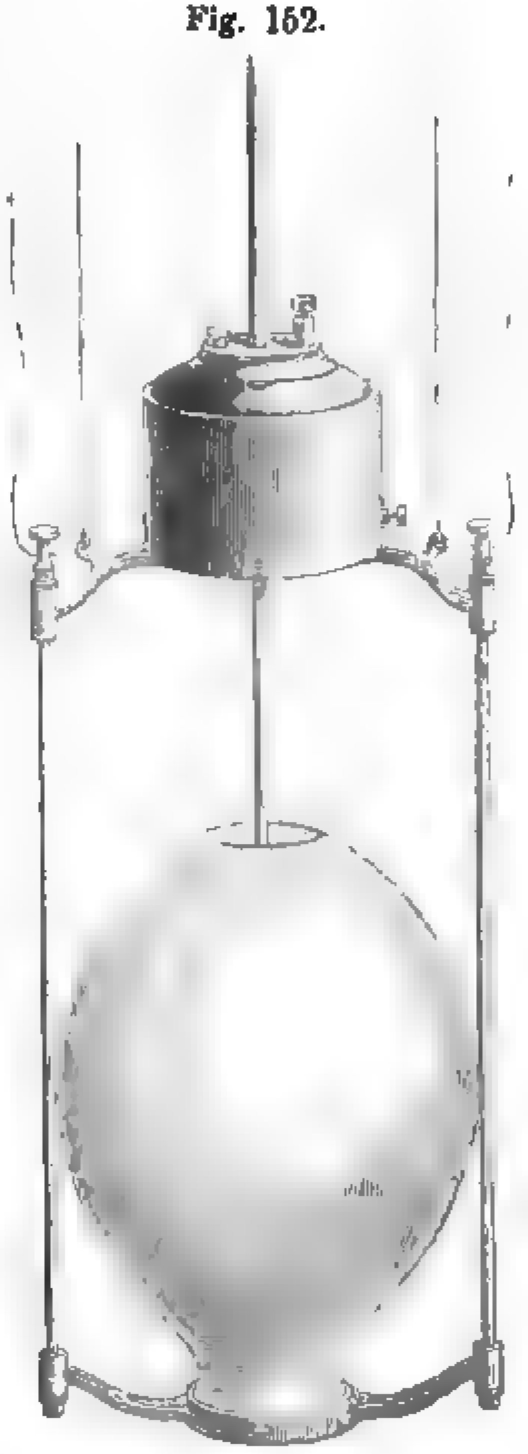
der Stangen *E*. Die untern Enden dieser Stangen sind durch den Kohlenträger *G* verbunden. Das ganze System ist mittelst der beiden Federn *R R*, welche den Anker von dem Elektromagnet *A* zu entfernen streben, aufgehängt. Der obere Kohlenträger *D* ist verzahnt und gleitet in passenden Führungen hinab. Die Verzahnung steht mit einem kleinen Räderwerk im Eingriff, welches dazu dient, die Bewegungen von *D* zu verlangsamen. Dieses Räderwerk wird durch das am Hebel *L* befestigte Stück *S* arretirt. Der Hebel *L* trägt linksseitig von dem Drehpunkt *V* den Anker *J*, welcher der Einwirkung des dünndrähtigen Elektromagnets *B* unterliegt. Die Feder *U* sucht den Anker *J* von dem Elektromagnet *B* zu entfernen.

Die Hauptleitung führt von dem positiven Pol zu dem obern Kohlenhalter, zur obern Kohle, zur untern Kohle, zum Elektromagnet *A* und dann zur negativen Klemme zurück; die Nebenschliessung umfasst die Strecke *V L M N* und den Elektromagnet *D*. Sobald daher die Lampe mit einer Stromquelle verbunden wird, eilt der Strom durch den Elektromagnet *B*, da der Hauptstromkreis durch die Entfernung der beiden Kohlenspitzen in der Regel unterbrochen ist. Der Anker *J* wird kräftig angezogen, *S* löst das Werk aus, bis die Schraube *M* die Feder *N* loslässt und letztere gegen den Haken fasst. Hierdurch wird *B* kurz geschlossen und der Hebel *C* beginnt zu oscilliren. In Folge dessen lässt *S* immer nur einen Flügel des Windfangs passiren, wodurch eine sehr genaue Einstellung der Kohlenstäbe möglich wird. Berühren nun die Kohlen einander, so geht jetzt ein kräftiger Strom durch *A*, während *B* in Folge seines grossen Widerstandes fast ganz stromlos wird und den Anker *J* loslässt. In Folge dessen wird das Werk arretirt und zugleich der Anker *C* vom Elektromagnet *A* angezogen und somit der Lichtbogen hergestellt. Im Verlaufe des Brennens wird der Widerstand des Lichtbogens grösser, der Strom in *B* also

stärker. Sodann wird J angezogen und S lässt einen Flügel des Windfangs passiren. Die Regulirung findet continuirlich statt.

Mit Hülfe dieser Lampe und einer neueren *Gramme*'schen Maschine mit flachen Magneten erhielt man 5 Lichter, jedes von 1200 N.-Kerzen, durch Aufwand von nur 6 P.-S. Nach einer Mittheilung *Niaudet's* hat die *Gramme*'sche Lampe bereits praktische Verwerthung gefunden und soll zur Zufriedenheit der Besitzer functioniren.

Fig. 152.



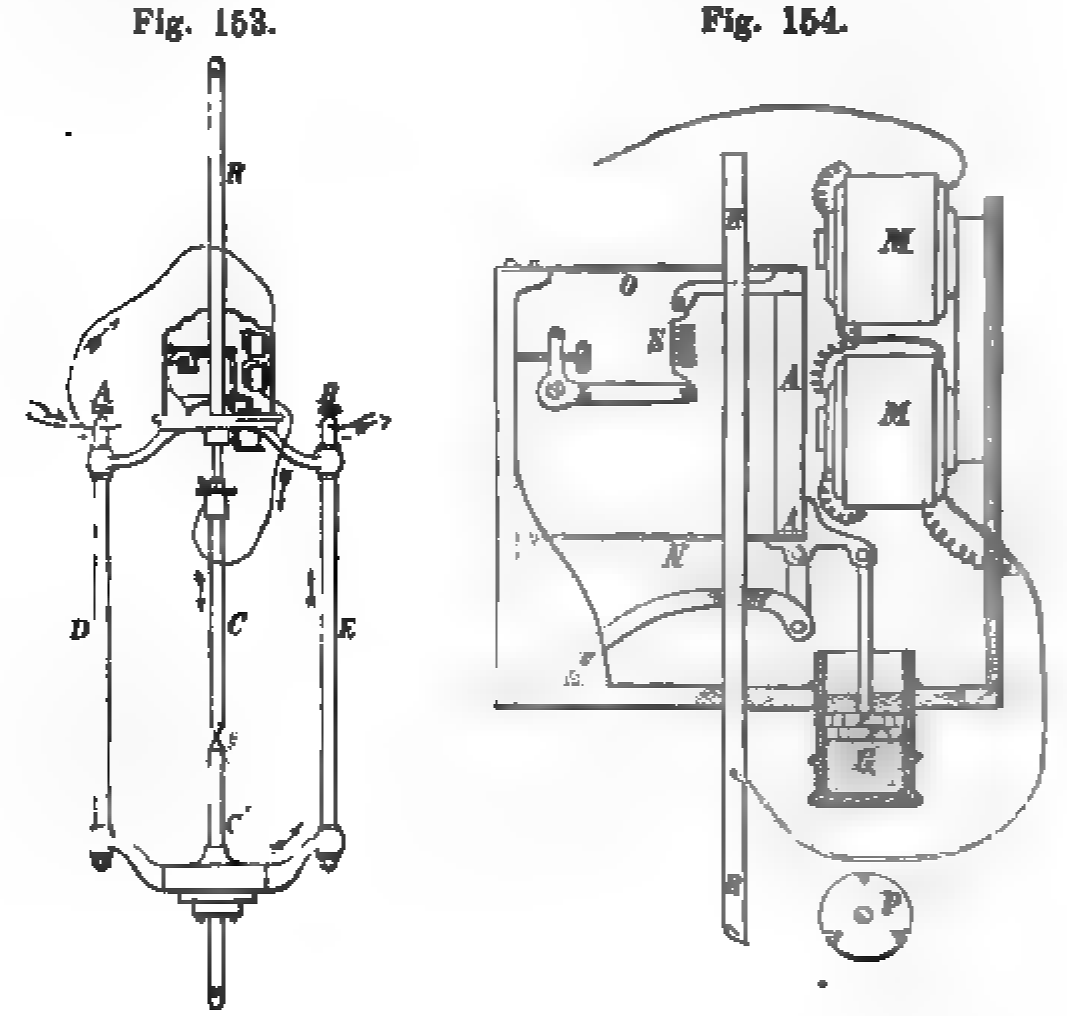
Die Weston-Möhring'sche Lampe.

Die Erfahrung hat gelehrt, dass die mit Elektromagneten arbeitenden Lampen bei guter Regulirung derselben mehrere Räume durch eine einzige Lichtmaschine unter Anwendung eines continuirlichen Stromes zu beleuchten vermögen. Eine vollständige Unabhängigkeit der einzelnen Lampen von einander wird durch die Zweigströme allerdings nicht erreicht, da die Kraft der Elektromagnete den Veränderungen der Stromstärke, die durch die Schwankungen in der Länge des Lichtbogens entstehen, nicht proportional ist, und unglücklicherweise die Elektromagnete hauptsächlich von der Menge der durch die Umwindungen strömenden Elektricität beeinflusst werden, wogegen der Lichtbogen vorzugsweise von der Spannung des Stromes abhängt.

Einen Fortschritt müssen wir daher in der Construction der

89. **Weston-Möhring'schen Lampe** erblicken, bei welcher ein sogenannter Differential-Magnet den vorhin gerügten Uebelstand theilweise compensiren dürfte. Die Lampe ist durch die Figuren 152, 153, 154 und 155 der Form und Construction nach dargestellt. Die Fig. 152 gibt eine äussere Ansicht der Lampe, Fig. 154 ein Bild des sehr interessanten zur Regulirung dienenden Mechanismus, welcher in der kleinen

Fig. 153. Fig. 154.



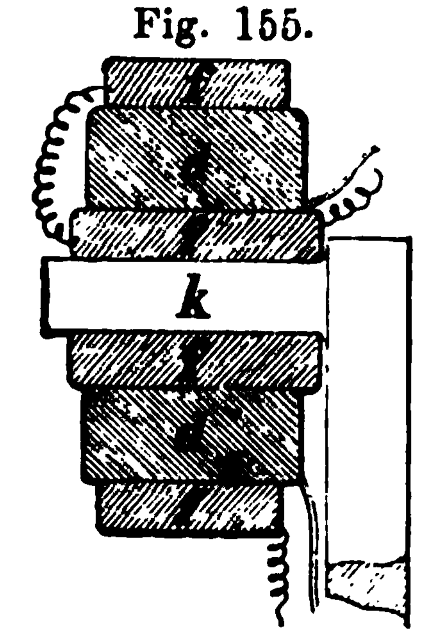
Stromlauf und Regulir-Mechanismus der W.-M. Lampe.

Kapsel, in dem obern Theile der Fig. 153 enthalten ist. In der Fig. 154 bedeutet *R* den oberen Kohlenhalter, welcher, wenn ein Strom die Lampe nicht durchfliesst, durch den ihn umfassenden Hebel frei hindurchgleiten kann und daher auf der unteren Kohle aufliegt.

A A ist die Armatur zu einem Elektromagnet *M M*; sie wird von zwei parallelen flachen Stahlfedern *N* und *O* gehalten, welche mit dem Gestelle der Lampe fest verbunden

sind. Die Fig. 154 zeigt, dass in der Ruhestellung das obere Ende der Armatur sich ein wenig unter dem obern Eisenkerne befindet. Fliesst also ein Strom durch den Elektromagnet *M M*, so zieht dieser die Armatur vertikal aufwärts. Dadurch wird der mit letzterer durch ein Gelenk verbundene Hebel *C* ebenfalls in die Höhe gehoben und dieser zieht in Folge seiner eigenthümlichen Construction gleich dem Frictionsringe in der *Brush*-Lampe bei einer bestimmten Lage den obern Kohlenhalter mit in die Höhe. *S* ist eine Feder, welche an ihrem obern Ende mit der Armatur, an ihrem untern Ende aber in einem Arm des gebogenen Hebels *L* eingehakt ist und deren Spannung durch eine in der Fig. 154 gezeichnete Schraube regulirt werden kann. Die Bewegung der Armatur wird also einerseits durch die nach oben gerichtete Anziehungskraft des Elektromagnets, andererseits durch die nach unten gerichtete Spannkraft der Feder bewirkt.

Fig. 155.



Construction des Differential-Magnets.

Damit aber die Bewegung bei einer etwaigen zu plötzlichen oder heftigen Aenderung des magnetischen Momentes von *M M* nicht ruckweise geschieht, ist das untere Ende der Armatur an einer kleinen Kolbenstange mit Kolben befestigt, welcher in einem kleinen mit Glycerin gefüllten Cylinder eintaucht. Die dämpfende Wirkung des kleinen Apparates kann dadurch erfolgen, dass man dem Glycerin ermöglicht, mehr oder weniger rasch von der einen Seite des Kolbens auf die andere zu gelangen. Dazu ist der letztere aus zwei übereinander liegenden Scheiben verfertigt, von denen die eine mit der Kolbenstange fest verbunden, die andere aber etwas gedreht werden kann; beide Scheiben sind ferner an dem Rande dreimal eingekerbt, so dass die Kerben genau 120° von einander entfernt stehen. Durch die Stellung der beweglichen Scheibe zu der festen kann also die Schnellig-

keit, mit welcher das Glycerin von der einen Seite auf die andere des Kolbens gelangen kann, mit grosser Genauigkeit regulirt werden, indem man die Einschnitte durch mehr oder minder weites Uebereinanderschieben der Scheiben schliesst oder öffnet. Die Scheiben sind in Fig. 154 im Aufriss und im Grundriss gezeichnet.

Der Elektromagnet *M M* ist von eigenartiger Construction, da jeder Schenkel von nicht weniger als drei Spulen umgeben ist, diese aber nur zwei Leitungen bilden, welche von dem Strome in entgegengesetzter Richtung durchflossen werden, so dass nur die Differenz der Ströme magnetisirend auf die Eisenkerne einwirkt. Es erhellt nämlich, dass zwei einen Eisenkern in entgegengesetzter Richtung umkreisende Ströme die magnetisirende Wirkung eines jeden gegenseitig schwächen müssen, so dass Richtung und Intensität der Polarität davon abhängt, welcher der beiden Ströme stärker ist. Die genauere Anordnung des Differential-Elektromagnets zeigt die Fig. 155. Hiernach ist der Kern zunächst von einer Spule feinen Drahtes umgeben; darüber ist eine Spule aus dickem Drahte gewunden und über dieser befindet sich abermals eine Lage feinen Drahtes. Beide Kerne sind in dieser Weise umwickelt; dabei sind die beiden Spiralen aus dickem Drahte mit einander verbunden und bilden einen Theil der Hauptleitung, in welcher der Lichtbogen liegt, während die vier Spulen feinen Drahtes unter sich in Reihen verbunden sind und in einer Nebenleitung liegen. Die Verbindungen der Wickelungen sind so getroffen worden, dass beide Kerne in gleicher Weise von den Strömen umkreist werden, der Nebenstrom aber in dem dünnen Drahte die Kerne in entgegengesetzter Weise als der Hauptstrom in dem dicken Drahte umfliesst.

Fig. 153 veranschaulicht nun die allgemeine Anordnung der einzelnen Theile. Der Strom theilt sich bei *A* in zwei Ströme. Der eine geht durch den dicken Draht der Magnet-

spiralen zu der oberen Kohle, von da hinab durch die untere Kohle und durch den rechten Stab *E* zu dem Ende *B*; dieser Strom macht *M M* magnetisch, die Armatur wird gehoben und folglich werden die Kohlen von einander getrennt — es entsteht der Lichtbogen.

Gleichzeitig fliesst ein anderer Strom von *A* durch den feinen Draht zum Magnet *M M*, schwächt event. dessen Stärke und geht von da zu *B* hin.

Die Länge des Bogens hängt von der Kraft ab, mit welcher der Magnet den Zug der an der Armatur befestigten Feder *S* überwindet. Wenn nun durch irgend eine Ursache, z. B. dadurch, dass die Kohlen sich von einander entfernen, der Bogen an Länge und Widerstand zunimmt, so tritt ein grösserer Strom in die Nebenleitung; der Elektromagnet verliert an magnetischer Intensität, die Armatur sinkt so weit herab, dass der Hebel *C* die obere Kohle etwas sinken lässt. Sofort aber verkleinert sich dadurch der Widerstand der Hauptleitung, so dass wiederum der Hauptstrom an Stärke gewinnt und die Armatur soweit anzieht, dass ein weiteres Nachsinken der Kohle einstweilen nicht stattfindet.

Wird die Leitung durch irgend eine Ursache ganz unterbrochen, so sinkt die Armatur ganz herab, bringt die Kohlen mit einander in Berührung und stellt den Strom her.

Alle diese Operationen erfolgen bei der Lampe mit grösster Schnelligkeit und Leichtigkeit auf einander; das Ergebniss ist ein ausnahmsweise ruhiges und schönes Licht.

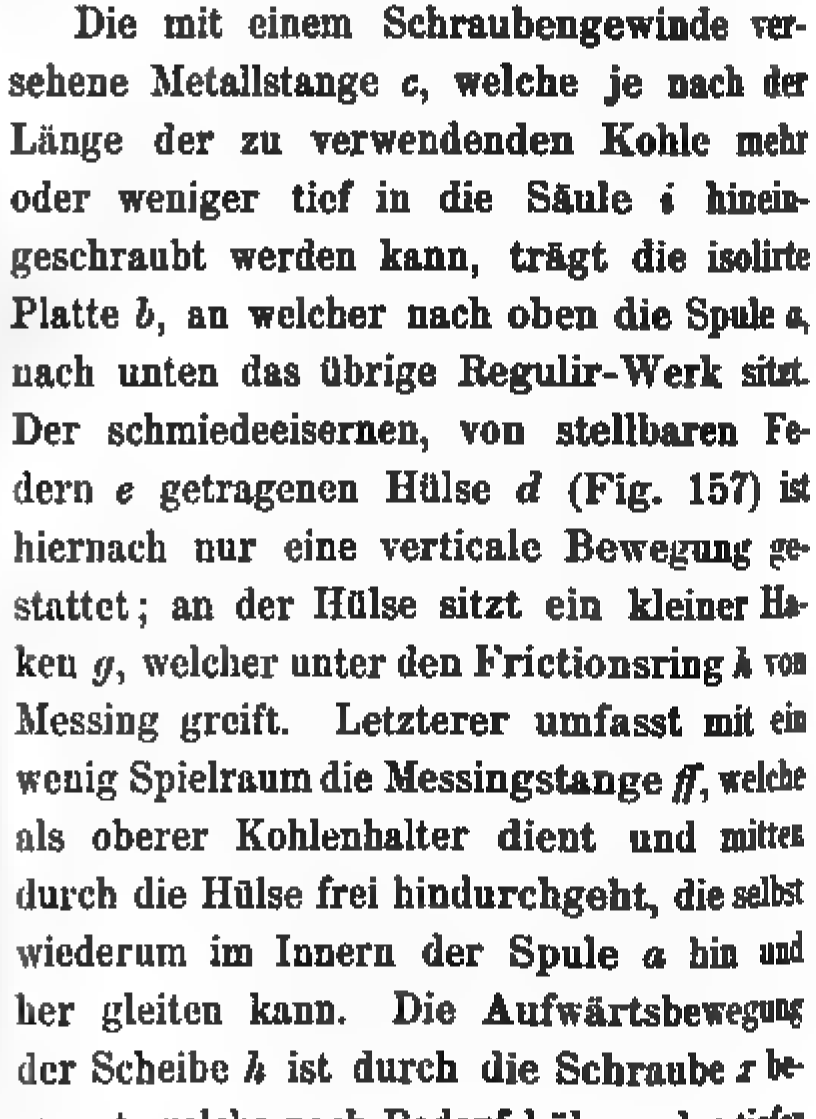
Die Lampe *Weston-Möhring* fand zu Paris grossen Beifall; selbst die Compagnie „Maschinen und Lampen *Maxim*“ adoptirte die *Weston*'sche Lampe, um diese nunmehr mit der *Hiram*'schen Maschine zu speisen.

Arbeiten die bisher besprochenen Nebenschluss-Lampen mit Elektromagneten, so besitzt die

90. Brush'sche Lampe Solenoide, oder genauer ausgedrückt, eine Differentialspule, und würde daher, wenn das Gewicht

des Kohlenhalters irgendwie äquilibrit wäre, zu den Differential-Lampen zu zählen sein; jedoch darf dieses nicht geschehen, da der obere Kohlenhalter nicht äquilibrit ist. Die Lampe arbeitet, wie wir schon jetzt anführen wollen, trotz der einfachen und rohen Kuppelung in zufriedenstellender Weise. Ein vielfach verbreitetes Modell der Lampe ist in der Fig. 156 abgebildet; die Fig. 157 zeigt nur den eigentlichen Mechanismus der Lampe, welcher, wie auch das Modell sonst beschaffen sein mochte, seither stets derselbe war.

Fig. 156.



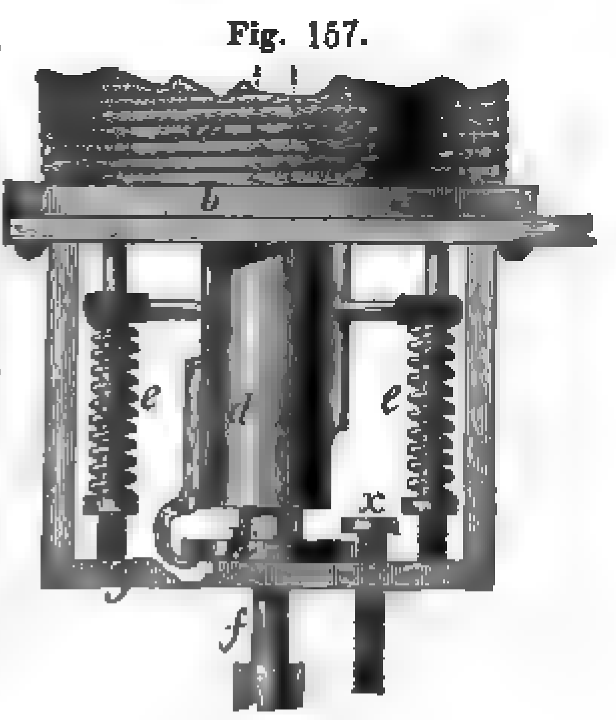
Lampe von Brush.

Die mit einem Schraubengewinde versehene Metallstange *c*, welche je nach der Länge der zu verwendenden Kohle mehr oder weniger tief in die Säule *i* hineingeschraubt werden kann, trägt die isolirte Platte *b*, an welcher nach oben die Spule *a*, nach unten das übrige Regulir-Werk sitzt. Der schmiedeeisernen, von stellbaren Federn *e* getragenen Hülse *d* (Fig. 157) ist hiernach nur eine verticale Bewegung gestattet; an der Hülse sitzt ein kleiner Haken *g*, welcher unter den Frictionsring *h* von Messing greift. Letzterer umfasst mit ein wenig Spielraum die Messingstange *ff*, welche als oberer Kohlenhalter dient und mittels durch die Hülse frei hindurchgeht, die selbst wiederum im Innern der Spule *a* hin und her gleiten kann. Die Aufwärtsbewegung der Scheibe *h* ist durch die Schraube *x* begrenzt, welche nach Bedarf höher oder tiefer gestellt werden kann. Solches ist auch mit dem unteren Kohlenhalter möglich, welcher isolirt auf dem Arme *y* angebracht ist.

Die Spule *a* besteht aus zwei Solenoiden. Das innere, vom Hauptstrome durchflossene Solenoid ist aus mehreren

Schichten dicken Drahtes (s) gebildet. Ueber diesen ist eine weit grössere Länge dünnen Drahtes (s_1) gewunden, dessen Enden derart mit den äussersten Enden der Lampe verbunden sind, dass der den dünnen Draht durchfliessende Zweigstrom eine dem Hauptstrome entgegengesetzte Richtung hat. Das magnetische Moment des äusseren Solenoids ist in Folge der zahlreichen Windungen trotz der geringen Strommenge (etwa 1 %, bei 450 *Ohms* Widerstand des Nebenschlusses und 4½ *Ohms* des Hauptschlusses) noch immerhin bedeutend, geringer allerdings als dasjenige des inneren Solenoids.

Fig. 157.



Regulir-Mechanismus der Brush'schen Lampe.

Aus der Verschiedenheit der Stromrichtungen in den beiden Solenoiden folgt, dass das magnetische Moment des äusseren Solenoides dasjenige des inneren schwächt, so dass die Differenz derselben auf den regulirenden Körper einwirkt. Von der Grösse dieser Differenz hängt es demnach ab, ob die Hülse d und Stange f im Gleichgewicht sind oder nicht. Dass dieses Gleichgewicht bei normaler Weite des Lichtbogens stattfindet, kann durch Abänderung der Anzahl der Windungen und der Widerstandsgrösse der Drähte s und s_1 praktisch erreicht werden; alsdann wird bei zu grossem Lichtbogen bezw. einer kleineren Differenz die Hülse und Stange f so weit sinken, bis der Lichtbogen die richtige Weite wieder erlangt hat.

Betrachten wir indessen diesen Vorgang genauer. Sobald ein genügend starker Strom die Lampe durchfliesst, also von der Zuführungsklemme an der Grundplatte durch

i, *c*, *a*, *f*, *k* und k_1 zu der Abführungsklemme fliesst, wird die Hülse *d* in die Spule *a* hineingezogen und dadurch der Frictionsring *h* einseitig empor gehoben. Letzterer ergreift daher die Stange *f* und trennt somit die Kohlen von einander, welche, wenn die Lampe nicht thätig ist, einander berühren. Es entfaltet sich der Lichtbogen; die anziehende Kraft der Spule *a* reicht trotz des grösseren Widerstandes in der Hauptleitung noch hin, Hülse und Kohlenhalter zu tragen. In dem Maasse aber, wie die Kohlen abbrennen, vermindert sich die anziehende Kraft der Spule; Hülse und Stange bewegen sich allmählich nach unten, indem sie dabei nur eine richtige Trennung der Kohlen unterhalten. Berührt schliesslich der Frictionsring *h* den Boden, von dem er anfänglich emporgehoben wurde, so wird eine weiter abwärts gehende Bewegung die Stange *ff'* losmachen und ihr erlauben, durch den Frictionsring so lange zu gleiten, bis letzterer in Folge des verkürzten Bogens wiederum gehoben wird und den Kohlenhalter klemmt. In fortgesetzter Thätigkeit ist also die normale Stellung des Frictionsringes die, dass der Ring seine Unterlage stets berührt und zu ihr in der Weise sich bewegt, wie die Platte *h* zum Elektromagnet in der *Crompton*'schen Lampe, wodurch ein ruhiges Nachgleiten der Kohle bedingt ist. Sollte jedoch die Stange *ff* zufällig zu weit gleiten, so wird sie augenblicklich und automatisch gehoben werden wie zu Beginn, auf dass die Kohlenspitzen wieder getrennt sind.

Jüngst hat die *Brush*'sche Lampe wesentliche Abänderungen erfahren. Der positive Kohlenhalter geht nicht mehr durch das Solenoid, sondern daran vorbei; ferner ist der obere Theil desselben hohl und mit Glycerin gefüllt, und in denselben ist ein in einer Hülse aufgehängter Kolben eingesenkt, wodurch die Bewegung des Kohlenhalters eine sehr gleichmässige und ruhige wird. Uebrigens erfolgt dieselbe durch einen Frictionsring so ziemlich in ähnlicher Weise, welche

bei der *Weston*'schen Lampe erörtert wurde: Die Bewegung des Ringes wird regulirt durch diejenige des Ankers des Solenoids, welche letztere durch einen Luftcylinder verlangsamt wird.

Sollten bei dem Betriebe mehrerer Lampen in einem Stromkreise an einer derselben die Kohlen abbrennen, so würde die Leitung zwar durch das dünndrahtige Solenoid geschlossen, der Strom jedoch in Folge des grossen Widerstandes so geschwächt sein, dass die übrigen Lampen schlecht brennen würden. Es ist desshalb an der Lampe ein besonderer Contact angebracht, welcher beim Verlöschen einer Lampe diese selbstthätig aus dem Stromkreise ausschliesst, ohne die Leitung zu unterbrechen.

Die Ausschalte-Vorrichtung besteht in einem kleinen Elektromagnet, dessen Draht von dem Zweigstrome des Nebenschlusses durchflossen wird. Dieser ist aber, so lange die Lampe normal arbeitet, nicht stark genug, den Elektromagnet zu sättigen, thut dieses vielmehr erst dann, sobald der Hauptstrom unterbrochen und somit der Zweigstrom sehr gestärkt wird. Dann aber zieht der Elektromagnet eine Armatur an, und schliesst damit eine Leitung dickeren Drahtes (*H*), durch den der Strom in der Lampe frei wegfliessen kann. Durch den Hülfsschluss wird natürlich die Stromstärke des Nebenschlusses reducirt; dennoch hält der Elektromagnet die gedachte Armatur fest, da derselbe nicht nur von dem dünnen Drahte, sondern auch dem dicken Draht *H* in gleicher Weise umwunden ist. Sind neue Kohlen in die Lampe gefügt, so geht augenblicklich ein bedeutender Theil des Stromes durch die Hauptleitung selbst, wodurch die beiden anderen Ströme so geschwächt werden, dass der Elektromagnet seine Armatur fallen lässt, womit der Hülfsschluss ausgeschaltet ist.

Die Kohlen, welche *Brush* verwendet, sind mit einer dünnen Schicht Kupfers bedeckt und 12 Zoll englisch lang.

Sie brennen ohne Erneuerung ungefähr acht Stunden, während welcher Zeit 9½ Zoll der positiven und 4 Zoll der negativen Kohle consumirt werden. Für den Fall, dass eine Lampe länger als 8 Stunden brennen soll, werden von *Brush* sogenannte Doppel-Lampen construirt, in welchen, wenn ein Paar Kohlen abgenutzt ist, von selbst ein zweites den Lichtbogen entfaltet.

Wenden wir uns nun zu den

II. Differential-Lampen,

welche im Wesentlichen darauf beruhen, dass man an die Stelle der Gewichts- oder Federkraft, welche bei den Nebenschluss-Lampen der Kraftäusserung des elektrischen Stromes entgegenwirkt, um die Länge des Lichtbogens unverändert zu erhalten, die Anziehung einer zweiten Drahtspule (Solenoids) oder eines Elektromagnets setzt, welches von einem Zweigstrome durchlaufen wird. Ausserdem sind alle Theile des Regulir-Mechanismus so äquilibrirt, dass ausser der genannten Gegeneinanderwirkung der beiden Spulen oder Elektromagnete keine andere Kraft auf die beweglichen Theile thätig ist. Die Differential-Lampen haben thatsächlich dem auf elektrischem Gebiete rühmlichst bekannten Herrn *v. Hefner-Alteneck* die Einführung in die Praxis zu verdanken; mochte auch, bevor *v. Hefner-Alteneck* seine Differential-Lampe in wirklich vollendeter Weise dem Publicum vorführte, eine

Fig. 158.



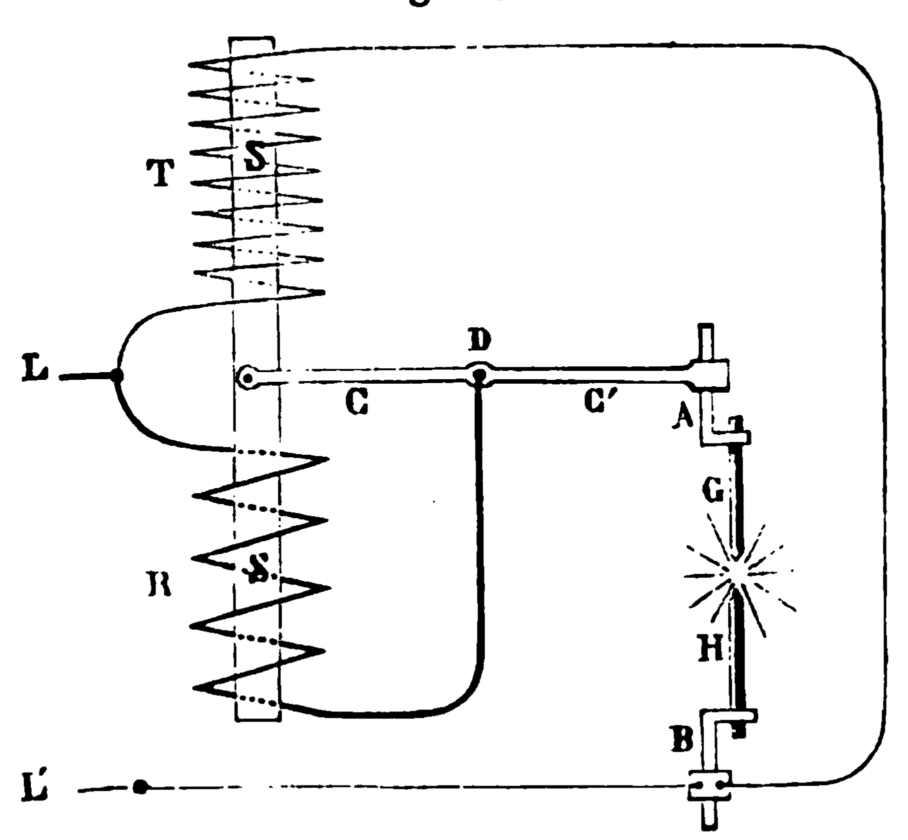
Die Differential-Lampe von v. Hefner-Alteneck.

andere Lampe, welche als Differential-Lampe betrachtet werden muss, existiren (§. 92), so war die letztere doch so unvollkommen und unfertig, dass die Interessenten gar keine Notiz von ihr nahmen, geschweige, dass die Lampe eine neue Epoche in der elektrischen Beleuchtung begründete. Ganz anders mit der *v. Hefner-Alteneck*'schen Differential-Lampe; kaum wurde sie bekannt, so ward das Wort „Differential-Lampe“ Losungswort aller Ingenieure, so wurde dieselbe in sehr zahlreichen Fällen zur Installation verwerthet in einer Weise, dass die durch sie ermöglichte Theilung des elektrischen Lichtes in den meisten Fällen genügte und dazu ein schönes ruhiges Licht gewonnen wurde. Beginnen wir daher auch mit

91. Siemens-Halske's Differential-Lampe (System v. Hefner-Alteneck), welche in der Fig. 158 in fertig aptirter Weise, in Fig. 160 hingegen im Durchschnitt dargestellt ist.

Die Einzelheiten der Lampe lassen sich nach diesem Princip, wie bereits aus den früheren Paragraphen ersichtlich ist, in sehr verschiedener Weise ausführen; wir geben in dem Nachstehenden nur diejenigen Mechanismen an, welche in der Differential-Lampe für die Praxis eine feste Gestalt angenommen haben.

Fig. 159.



Der Stromlauf in der Differential-Lampe.

In der schematischen Fig. 159 ist der Stromlauf und die Stromverzweigung für eine solche Lampe dargestellt. *R* ist eine hohle Rolle dickern Drahtes, *T* eine zweite, aus feinem Drahte und vielen Umwindungen bestehende ähnliche Spule von grossem Wider-

stande. In beiden Spulen befindet sich ein Eisenstab *S S*, welcher in seinem Mittelpuncte durch einen Hebel *C C'* mit dem obern Kohlenhalter *A* verbunden ist, während der untere Kohlenhalter *B* fest steht.

Wie sich aus der Figur ergibt, verzweigt sich der aus der Leitung bei *L* in die Lampe eintretende Strom in zwei Zweige, von denen der eine durch die untere Spule mit dickerm Drahte und durch die beiden Kohlen, bezw. durch den Lichtbogen, der andere durch die obere Spule mit dünnem Drahte unter Umgehung der Kohlen verläuft, so dass beide Zweige sich beim Austreten aus der Lampe wieder zu einer gemeinsamen Leitung vereinigen.

Die Stromstärke in diesen beiden Stromzweigen ist nach §. 12 umgekehrt proportional den Widerständen der Zweige und es erfolgt die Regulirung des Lichtbogens, da das ganze bewegliche System durchaus äquilibrirt ist, durch die alleinigen Wirkungen der beiden Spulen *R* und *T*, von denen die erstere den Eisenstab *S* stets nach unten, die andere entgegengesetzt stets nach oben zu ziehen strebt, mit anderen Worten, die Regulirung der Lampe erfolgt lediglich durch die Differentialwirkung der beiden elektrischen Zweigströme in den beiden Spulen.

Die Wirkungsweise dieser Ströme und Spulen ist nun folgende: Der bei *L* eintretende Strom findet die Kohlenstäbe in beliebiger Stellung zu einander vor, z. B. weit von einander getrennt. In diesem Falle hat die obere dünndrähtige Spule *T* vollen Strom, da der andere, durch die dickdrähtige Spule *R* gehende Zweig an der Trennungsstelle der Kohlenstäbe unterbrochen ist. Die Spule *T* zieht also den Eisenstab *S* in sich hinein und bringt die Seite *C'* des um *D* drehbaren Hebels *C C'* in ihre unterste Stellung. In dieser Lage löst sich der obere allein bewegliche Kohlenhalter *A* (wie sogleich näher wird gezeigt werden) von dem Hebelarm *C'* los und fällt gegen die untere Kohle herunter,

wobei die Geschwindigkeit dieses Falles durch ein kleines Echappement mit Pendel gemässigt wird. In dem Momente, wo die Kohlen sich treffen, geht der grösste Theil des Stromes durch die Kohlen und die untere Spule *R* mit dickerm Drahte, während der Zweig, in welchem sich die dünndrähtige Spule *T* befindet, fast stromlos wird.

Durch die überwiegende Anziehung der unteren Spule wird der Stab *S* nach unten gezogen; es hebt sich der Hebelarm *C'* und es stellt sich sofort die vorher gelöste Verbindung zwischen dem Hebel *C'* und dem Kohlenhalter *A* wieder her; die Kohlenstäbe gehen auseinander und der Lichtbogen wird entzündet.

In Folge des in dem Stromkreise der Spule *R* hinzutretenden Widerstandes des Lichtbogens, welcher mit der Länge des Bogens zunimmt, wächst der Strom wieder in der dünndrähtigen Spule *T*, während er in *R* schwächer wird, bis bei einem bestimmten Widerstande des Bogens sich die von *R* und *T* auf *S* ausgeübten Anziehungen das Gleichgewicht halten. Es brennen nun die Kohlenstäbe langsam ab, aber die gleiche Bogenlänge stellt sich immer wieder her, indem die Gleichgewichtslage bei einer entsprechend höheren Stellung des Eisenstabes eintritt. Es steigt also dieser langsam in die Höhe, während der Hebelarm *C'* mit dem obern Kohlenhalter sich senkt. Ist der Hebelarm *C'* in seiner untersten Stellung angelangt, so löst sich seine feste Verbindung mit dem Kohlenhalter; derselbe fällt langsam herunter, jedoch nur sehr wenig, da die eintretende Verkürzung des Lichtbogens wieder das Aufwärtsgehen des Hebelarmes *C'* zur Folge hat und sich daher die Kuppelung zwischen ihm und dem obern Kohlenhalter wieder herstellt. Der Eisenstab spielt von nun an nahezu in seiner höchsten, der Hebelarm *C'* dem entsprechend nahe in seiner tiefsten Lage nur um ein Geringes auf- und abwärts, wobei in kurzen Intervallen die obere Kohle um so viel nachfällt,

als zum Ausgleiche der Verbrennung der Kohlenstäbe nöthig ist. Wird durch irgend welchen Vorgang im Stromkreise ausserhalb der Lampe die Stromstärke verändert, so bringt dieses an sich in der Lampe keine Bewegung hervor, weil dabei die Stromstärken in beiden Zweigen um gleich Viel ihrer früheren Stärke ab- oder zunehmen, also die einander entgegengesetzten Anziehungen auf S sich aufheben und das Gleichgewicht ungestört bleibt.

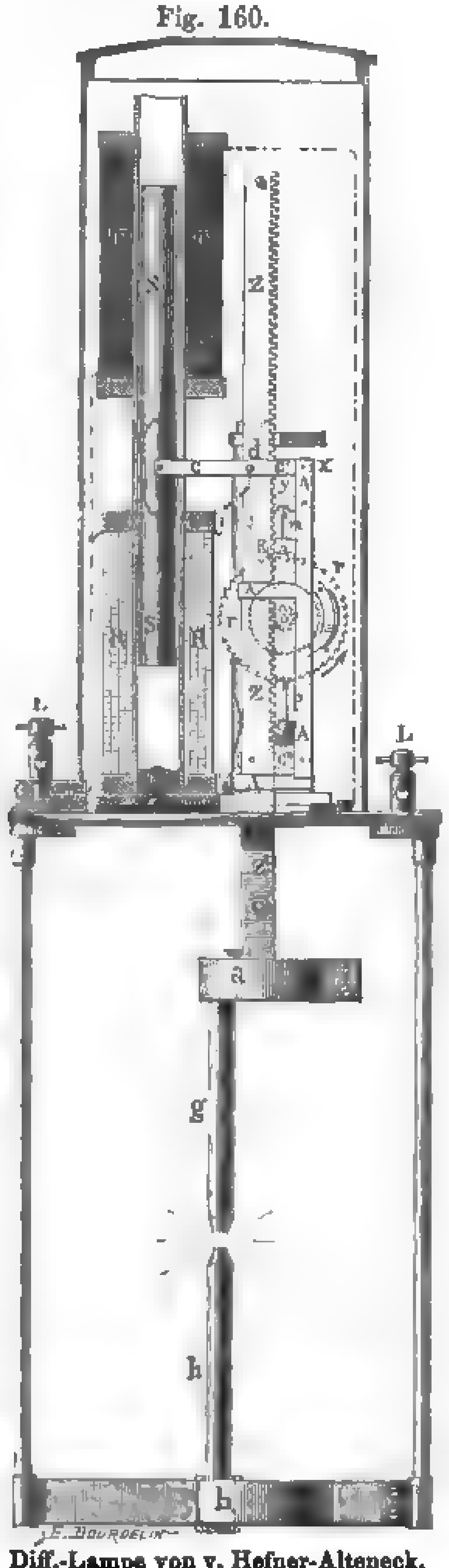
Für die Grösse des Widerstandes, auf welchen der Lichtbogen gebracht wird, ist das Verhältniss der Wirkungen von R und T auf S maassgebend. Dieselbe wird daher vorbestimmt durch geeignete Auswahl des Widerstandes und der Zahl der Umwindungen auf den beiden Spulen, oder indem man den Stab S in die eine der beiden Spulen mehr oder weniger eintauchen lässt. Zu diesem Zwecke kann die obere Spule in eine höhere oder tiefere Stellung gebracht und in derselben befestigt werden.

In Fig. 160 ist die Differential-Lampe im Durchschnitt dargestellt unter Weglassung der unwesentlicheren Theile. Man ersieht daraus, dass der Kohlenhalter a mit der ihn tragenden Zahnstange Z nicht unmittelbar an den um den festen Punct d drehbaren Hebel $c\,c'$ angehängt ist, wie dieses in der schematischen Fig. 159 angedeutet war. Die Zahnstange Z hat vielmehr ihre Führung in dem Theile von A, welcher an dem Hebelende c' angehängt und durch eine Gelenkstange c'' an seinem untern Ende so geführt ist, dass er sich bei den Schwingungen von $c\,c'$ nur parallel mit sich auf und ab bewegen kann. Die Zahnstange kann an dem Theile A nur langsam abwärts gleiten, indem sie dabei das Steigrad r und das kleine Echappement E in Bewegung und dadurch das Pendel p mit seinem nach oben gehenden Arme in Schwingung setzen muss, welche Theile sämmtlich an dem Stücke A gelagert sind und mit ihm auf- und abwärts gehen.

In einer gehobenen Lage des Stückes A ist der Arm m

durch eine Kerbe in dem kleinen Hebel y, welcher bei x gleichfalls an dem Stücke A gelagert ist, festgehalten und damit das Echappement arretirt und die Zahnstange mit dem Stücke A verkuppelt. Wenn aber das Stück A und damit der Hebel y sich seiner untersten Stellung nähert, so wird der letztere durch einen am Gestelle festsitzenden Stift ausgehoben und das Echappement und damit die Zahnstange Z vom Stücke A frei, worauf in der bereits vorhin beschriebenen Weise die nöthige Nachschiebung der oberen Kohle sich bewerkstelligt.

Fig. 160.



Diff.-Lampe von v. Hefner-Alteneck.

Man sieht hieraus, dass auch bei der *Siemens-Halske'*schen Anordnung der Zweigströme die Einschaltung mehrerer Lampen in einen einzigen Stromkreis zulässig ist, weil jede durch den Lichtbogen e i n e r Lampe hervorgerufene mässige Stromschwankung ohne Einfluss auf die übrigen Lampen bleibt und jede Lampe unabhängig von den anderen ihren Lichtbogen auf eine genau gegebene, bestimmte Länge und Helligkeit einstellt. Sollte eine Lampe

verlöschen, so wird diese mittelst eines besonderen Contactes sofort selbstthätig aus dem Stromkreise ausgeschlossen, ohne dass die Leitung unterbrochen wird.[1])

Derjenige Theil des Stromes, welcher durch die Nebenschlussspule mit dünnem Drahte läuft, geht wie bei den übrigen Lampen mit Stromverzweigung natürlich für die Lichtentwickelung verloren; doch ist dieser Verlust so ausserordentlich gering, dass er weder für das blosse Auge noch für das Photometer wahrnehmbar ist, wie denn auch der Unterbrechungsfunken, welchen der schwache Strom in der dünndrähtigen Spule erzeugt, sehr klein ist.

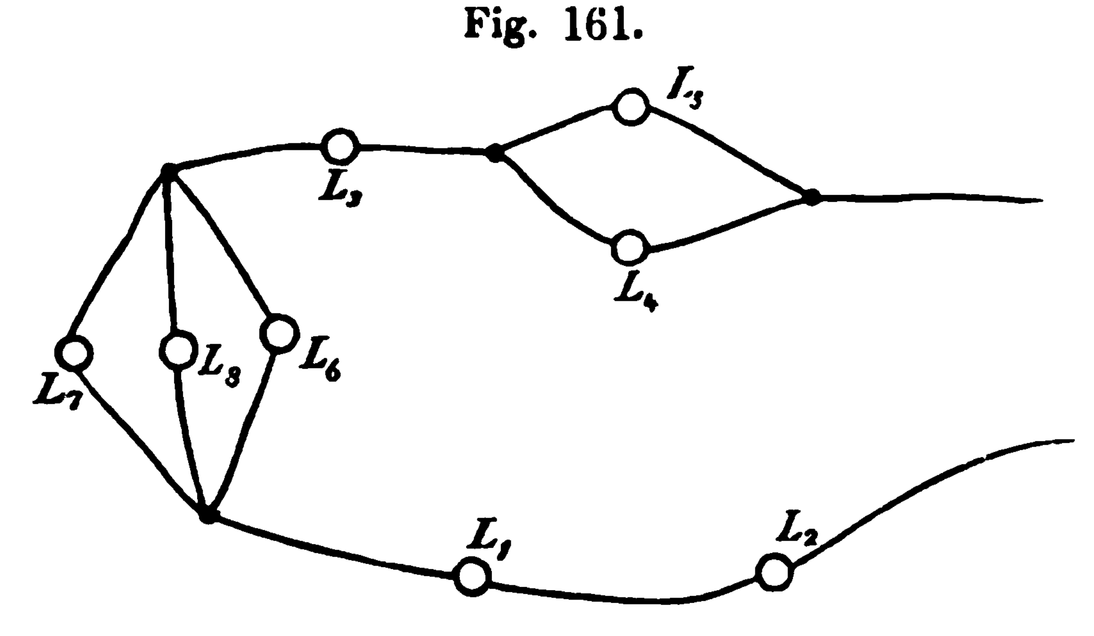
Die vorbeschriebene Construction der Differential-Lampe ist für die allgemeinen Beleuchtungszwecke bestimmt, und daher ist auch der Regulir-Mechanismus nach oben gelegt, so dass er nach unten keine Schatten wirft; aus demselben Grunde ist auch von der Erhaltung des Lichtbogens auf derselben Stelle des Raumes abgesehen. Indessen kann der Lampe durch eine einfache Vorrichtung ein constanter Focus gegeben werden. An die Stelle der unteren Kohlen-Elektrode tritt eine Hülse, welche die Elektrode in sich birgt. Eine Spiralfeder strebt die Kohle aus der Hülse herauszutreiben, doch stösst die Kohle auf einen kupfernen Ring, dessen Durchmesser um weniges geringer ist als derjenige der Kohle. Es ist demnach klar, dass nur der angebrannte conische Theil der Kohle durch den Ring hindurchgeht. Die Lage des Ringes ist eine solche, dass der Focus sich am Ende des Hubes der Zahnstange befindet, welche desshalb auch statt einer 20 cm langen Kohle eine solche von 40 cm trägt. Die untere Kohle in der Hülse hat dieselbe Länge; die Lampe brennt daher acht Stunden. Es hat sich bereits gezeigt, dass der Kupferring unter der Einwirkung des elektrischen Lichtes nicht so stark leidet, als wie man wohl

---

[1]) Vgl. p. 419.

meinen möchte; übrigens kann er durch eine einfache Operation mit einem anderen Ringe ausgewechselt werden.[1]) Zum Betriebe der Differential-Lampe verwenden *Siemens & Halske* die in §. 54 beschriebene Wechselstrom-Maschine, hauptsächlich wegen ihrer grossen Dauerhaftigkeit und Sicherheit im Betriebe.[2]) Obgleich daher *Siemens & Halske* auf manchen Vortheil, den der Betrieb mit gleichgerichtetem Strome bei gewöhnlichen Beleuchtungszwecken bietet, verzichteten, haben

Fig. 161.



Zur Stromvertheilung.

sie solche Erfolge mit den Differential-Lampen erzielt, dass zu Anfang des verflossenen Jahres bereits ca. 1½ Tausend Lampen in Betrieb waren und allerseits lobende Anerkennung den Verdiensten der allbekannten Firma gespendet wurde. Uebrigens sei bemerkt, dass die Differential-Lampen auch mit gleichgerichteten Strömen gespeist werden können.

Verfügt man über eine Stromquelle von entsprechender Spannung, so kann man mehrere Lampen in denselben Stromkreis schalten; natürlich ist auch die Einschaltung von mehreren Lampen in verschiedenen von derselben Stromquelle ausgehenden Zweigleitungen oder parallel nebeneinander möglich. Man kann selbst beide Schaltungsmethoden gleichzeitig für die nämliche Stromquelle verwenden und dadurch die Möglichkeit gewinnen, in den verschiedenen Theilen des

---

[1]) E. Z., Bd. I, p. 70, 86, 103.

[2]) Cfr. Z. f. a. E. 1881, p. 73.

Netzes, entsprechend den in diesen Theilen vorhandenen verschiedenen Stromstärken, Lichter von sehr verschiedener Stärke zu erzeugen; so würden bei der durch Fig. 161 angedeuteten Schaltung die Lampen L_1 L_2 L_3 das hellste Licht, die Lampen L_4 L_5 ein schwächeres und die Lampen L_6 L_7 L_8 das schwächste Licht geben. Die Anzahl der Lampen ist begrenzt durch die Spannung der gegebenen Maschine, auf deren Isolation stets zu achten ist; doch werden schon 20 Lampen in einem Stromkreise betrieben, ohne dass ein Nachtheil hervorgetreten ist.

Photometrische Versuche in München ergaben, dass die Lichtstärke der ungedeckten Differential-Lampe 36 Gasflammen gleich komme; wurden zur Deckung des zu sehr blendenden Lichtes Alabasterkugeln (Fig. 158) angewendet, so ergaben sich Lichtverluste von 32—58 %, je nach der Dicke der Gläser und der Beschaffenheit der Glasmasse, so dass eine solche Lampe noch immer eine Lichtstärke von mindestens 18 bis 24 Gasflammen ergibt.

Die bisher beschriebenen elektrischen Lampen haben eine lösbare Kuppelung gemeinsam; bezüglich dieser finden wir von der rohen Frictionskuppelung der *Brush*-Lampen bis zu den vorzüglichen Auslösungen der *Siemens*-Lampen alle Grade der Feinheit vertreten. So sinnreich und fein aber auch die *Siemens*'sche Kuppelung ist, so darf doch nicht verkannt werden, dass diejenigen Lampen, welche einer jeden Kuppelung entbehren und dabei gut functioniren, den Vorzug verdienen. Solche Lampen suchten *Marcus & Egger* in Wien sowie *Horn* in Berlin bereits vor Jahren herzustellen, hatten aber wenig Erfolg, da bei den construirten Lampen die Empfindlichkeit der Regulirung sehr beeinträchtigt wurde.[1]) Mehr Erfolg hatten die Bemühungen *Tchikoleff's* und *André's*,[2]) bei deren Lampen der Bewegungsmechanismus

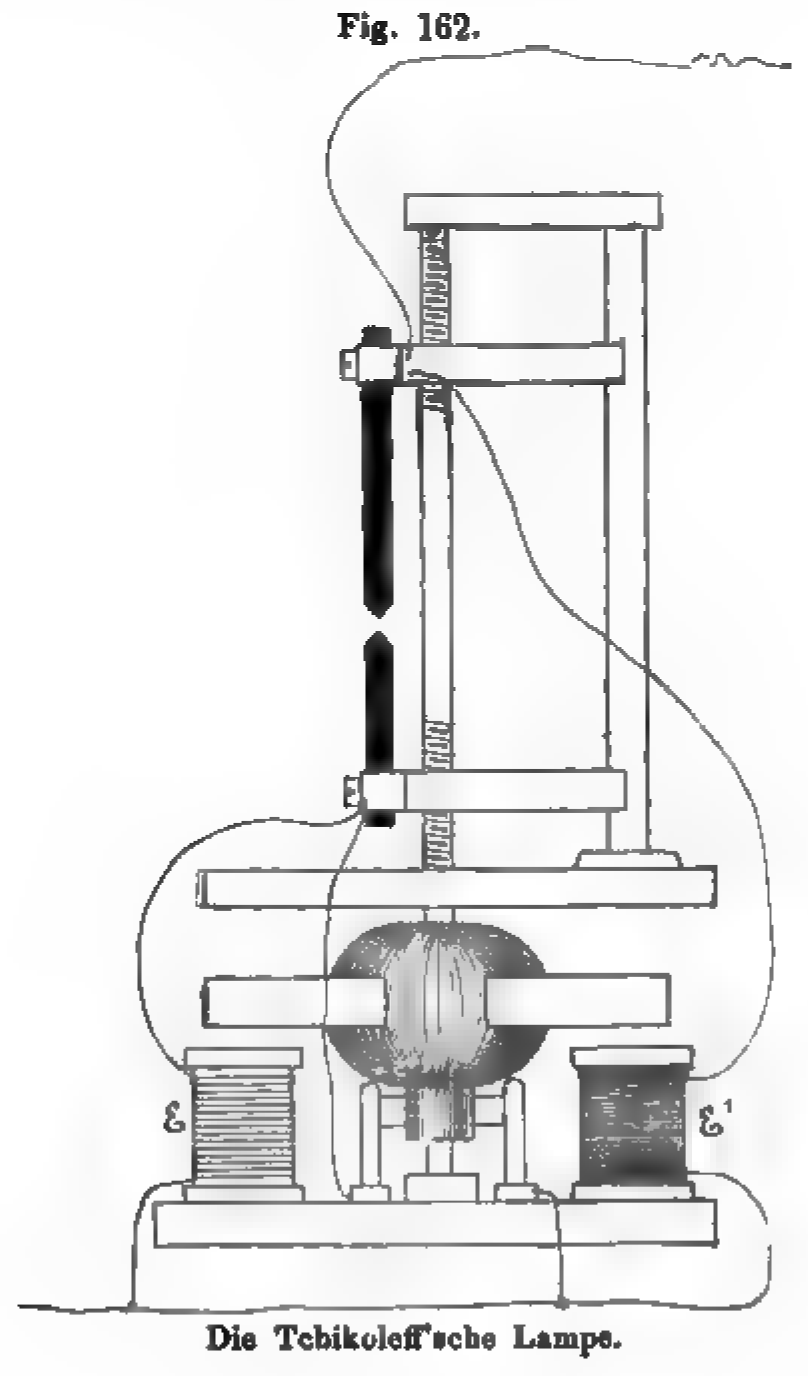
[1]) Z. f. a. E. 1879, p. 263, und 1881, p. 228.

[2]) Z. f. a. E. 1881, p. 217.

aus einer kleinen elektro-dynamischen Maschine besteht. So ist in der

92. Tchikoleff'schen Lampe, welche zwar schon im Jahre 1877 in die Praxis eingeführt wurde und demgemäss als erste Differential-Lampe betrachtet werden kann, indessen

Fig. 162.



Die Tchikoleff'sche Lampe.

von aller Welt unbeachtet blieb und keineswegs auf dem Gebiete der elektrischen Beleuchtung eine neue Periode des Fortschrittes schuf, eine *Gramme*'sche Maschine zur Regulirung der Entfernung der Kohlen verwandt. Den Ring umschliessen die zu kreisförmigen Schuhen geformten Pole

der Kerne zweier Stab-Elektromagnete. Die Achse des Ringes trägt eine links geschnittene und eine rechts geschnittene Schraube, deren Muttern in den untern und obern Kohlenträgern sitzen.[1]) Dreht sich der Ring in der einen oder der andern Richtung, so bewegt er die beiden Kohlen zugleich, nähert sie einander in dem einen Falle und entfernt sie von einander im andern Falle. Der Ring liegt in einem Zweigstromkreise, der auch den Lichtbogen in sich enthält; ein zweiter Zweigstromkreis enthält ebenfalls den Lichtbogen und ausserdem noch die Spule des Elektromagnets E; die Spule des Elektromagnets E' dagegen bildet für sich allein einen dritten Zweigstromkreis.

Nach den Erörterungen im §. 29 entstehen nun bei richtiger Stellung der Bürsten im Ringe zwei Pole (n und s), welche zu den Polen (N und N') der Elektromagnete (E und E') im Kreuze stehen; daraus folgt, dass der dickdrähtige Elektromagnet E die Kohlenspitzen von einander zu entfernen strebt, während der dünndrähtige Elektromagnet E' die entgegengesetzte Tendenz hat. Die Wickelungen und Widerstände der Zweigschaltungen sind nun so angeordnet, dass sich bei einem bestimmten Widerstand des Lichtbogens die magnetischen Wirkungen der Elektromagnete sich das Gleichgewicht halten. Dieses Gleichgewicht wird aber gestört, wenn der Widerstand des Lichtbogens sich ändert, d. h. wenn der letztere enger oder weiter wird; ist der Widerstand des Lichtbogens zu klein, so überwiegt der Elektromagnet E und der Ring entfernt die Kohlen von einander: bei zu grossem dagegen bringt er sie einander näher. Für die öffentliche Beleuchtung bestimmte Lampen richtet *Tchikoleff* so ein, dass der Ring nur die obere Kohle auf und ab bewegt, während die untere stillsteht.

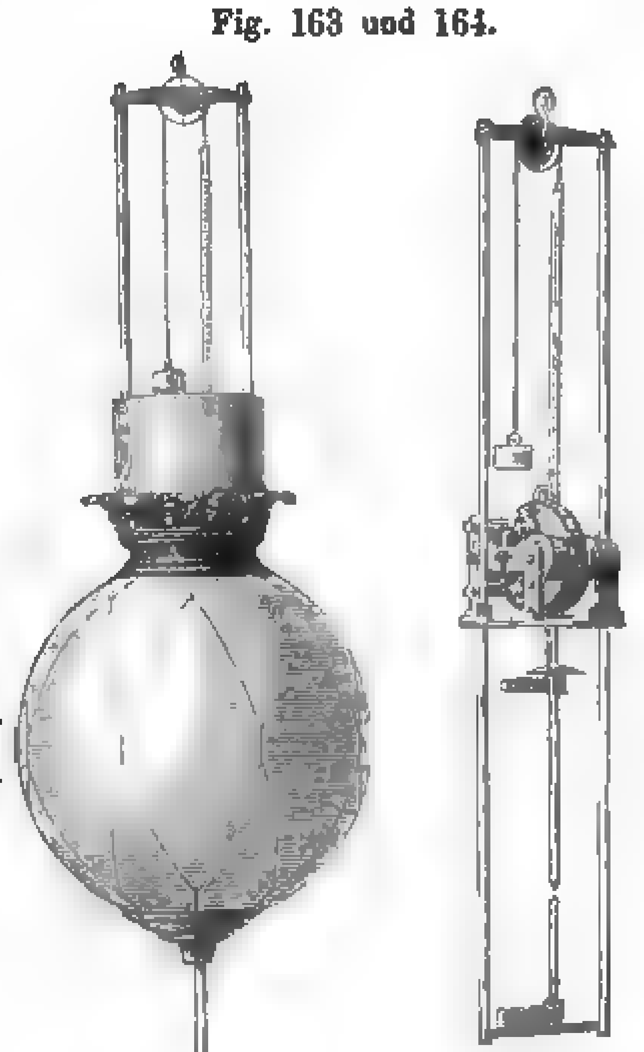
---

[1]) Das Gewinde der Schraube ist bei Anwendung von Wechselströmen gleich, damit der Focus constant erhalten bleibt, ungleich aber bei Anwendung von gleichgerichteten Strömen. Cfr. p. 302.

In dieser Weise ist auch die durch die Figuren 163, 164 und 165 dargestellte

93. Schuckert'sche Differential-Ringlampe construirt. Bei ihr befindet sich zwischen den vier Magneten N, S, S_1, N_1 in verticaler Stellung ein Flachring, welcher seine Bewegung vermittelst eines Zahnrades und einer Zahnstange auf die obere Kohle überträgt; das Gewicht der Zahnstange bezw. des obern Kohlenhalters ist äquilibrirt durch ein Gewicht.

Fig. 163 und 164.



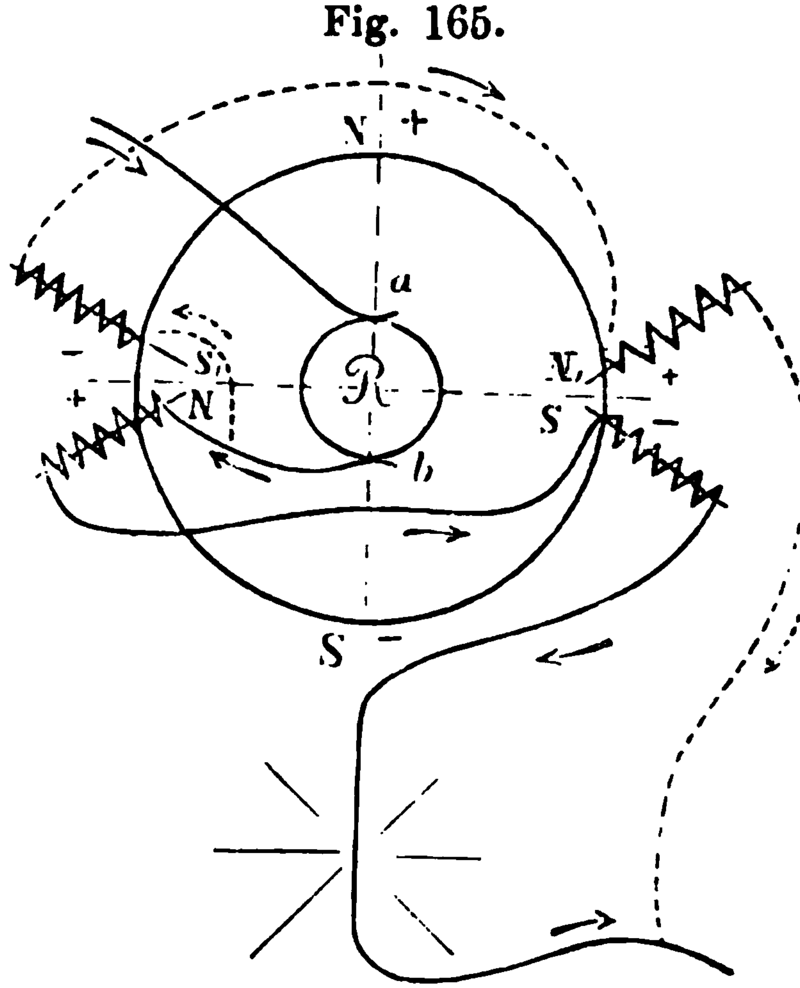
Die Schuckert'sche Differential-Ringlampe.

Wie Schema Fig. 165 zeigt, geht der Strom zuerst bei a in den Ring R, tritt bei b aus demselben und theilt sich hier in zwei Zweige. Der eine Zweig enthält die Magnete NS[1]) mit wenig Windungen dicken Drahtes und den Lichtbogen; der andere Zweig, die den Nebenschluss bildenden Magnete $S_1 N_1$ mit vielen Windungen dünnen Drahtes, (punctirt gezeichnet). Die Stellung der Pinsel oder Contactrollen ist so gewählt, dass sich auf dem Ringe die gebildeten zwei Pole NS zwischen den Polen der Elektromagnete NS und $N_1 S_1$ befinden. In Folge dessen wird der Ring bei richtigem Widerstande des Lichtbogens von beiden Magnetsystemen gleichmässig in entgegengesetzter Richtung angezogen bezw. abgestossen und verharrt in Ruhe. Wird

[1]) NS liegen vor, $N_1 S_1$ hinter der Papierfläche. Cfr. Fig. 165.

aber der Widerstand bei Entfernung der Kohlen von einander im Lichtbogen grösser, so werden die in diesem Stromkreise liegenden Elektromagnete $N\,S$ schwächer, die im Nebenschluss liegenden $S_1\,N_1$ dagegen stärker. Die Wirkung der letzteren auf den Ring überwiegt und bewegt denselben nach einer Richtung, wodurch die Kohlen sich nähern. Das Umgekehrte ist der Fall, wenn der Widerstand im Lichtbogen kleiner wird. Es erhellt, dass der Strom auf diese Weise den Lichtbogen immer auf den bei der Construction vorgesehenen Widerstand einstellt, so dass beliebig viele solcher Lampen in einem Stromkreis brennen können, ohne einander schädlich zu beeinflussen.

Fig. 165.



Der Kreislauf des Stromes in der Schuckert'schen Ringlampe.

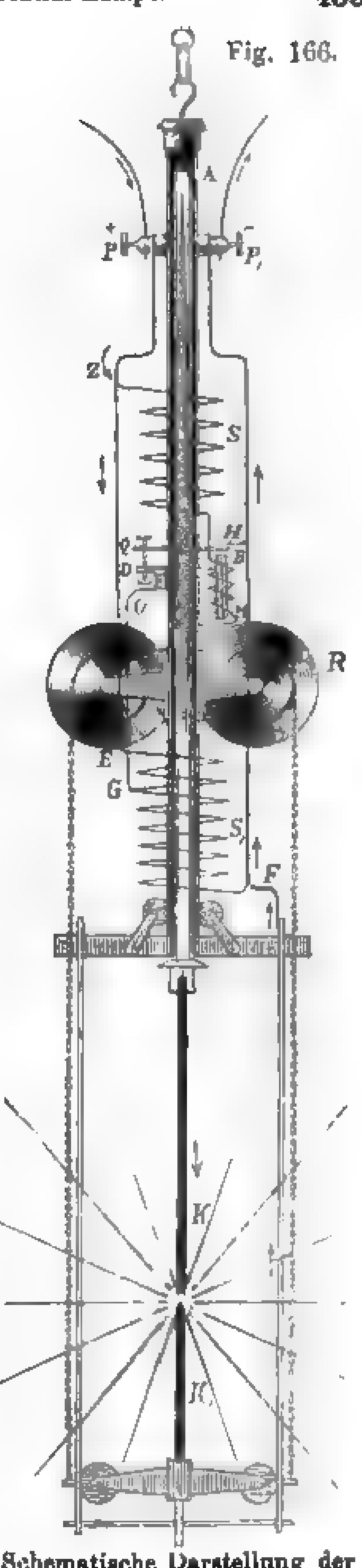
In ungemein einfacher Weise haben *Krizik* und *Piette* in ihrer Stablampe jede Kuppelung zu beseitigen gewusst. „Es ist gar nicht zu bezweifeln, sagt *Uppenborn*, dass die Stablampe, welche ihre constructive Durchbildung Herrn *S. Schuckert* verdankt, eine ganz neue Epoche in der Construction elektrischer Lampen herbeiführen wird. Diese Lampe enthält weder Kuppelung, noch überhaupt irgend ein Uhrwerk. Ein nach beiden Seiten zugespitzter Eisenkern, zwei Differentialspulen, ein nebenschliessender Sicherheitscontact nebst Elektromagnet, zwei Kohlenhalter, das ist alles, was die Lampe in sich birgt. Trotz dieser ganz enormen Einfachheit functionirt die Lampe sehr exact. Die Idee, einen conischen Eisenkern anzuwenden,[1]) welche für die

[1]) Vgl. p. 16.

Zukunft dieser Lampe von entschiedener Bedeutung war und ist, ging von Herrn *Schuckert* aus, der auch, wie gesagt, die constructive Durchbildung der Lampe in vortrefflicher Weise vornahm." Die

94. Krizik-Piette'sche Differential-Lampe (Stablampe) ist durch die Fig. 166, 167 und 168 dargestellt. Der Eisenkern kann sich in der Büchse *A* von angemessener Länge frei bewegen und ist an seinem unteren Ende mit dem oberen Kohlenhalter *K* zweckmässig verbunden. Auf den Kern wirken zwei in einer oberen und einer unteren Stellung die Büchse *A* umschliessende Spulen *S* und S_1 eine bestimmte grössere Weglänge ein und zwar in entgegengesetzter Richtung, jedoch gleich stark, so lange die magnetischen Momente der Spulen gleich sind. Die Spule *S* ist mit dem Lichtbogen in denselben Stromkreis (P_1, *Z*, *S*, *M*, *K*, K_1, P_2) geschaltet und besteht aus starkem Kupferdraht mit geringem Widerstand und wenig Windungen; die Spule S_1 ist hingegen als Nebenschluss geschaltet (P_1, *E*, S_1, *F*, P_2), hat einen grossen Widerstand und ausser einigen Lagen dicken Kupferdrahtes s_1 viele Windungen dünnen Drahtes s_2, so dass sie schon durch

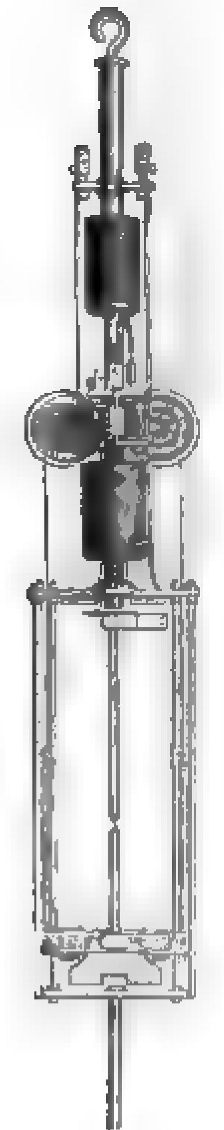
Fig. 166.



Schematische Darstellung der Krizik-Piette'schen Lampe.

einen schwachen Strom dasselbe magnetische Moment erhält, welches die Spule S erst bei einem starken Strome zeigen würde. Die Stromstärke in den beiden Spulen hängt aber von der jeweiligen Weite des Lichtbogens ab; je grösser diese ist, um so schwächer ist der Strom der Spule S und um so stärker der Strom der Spule S_1. Somit kann die Wirkung der Spulen S und S_1 auf den Eisenkern nur dann gleich stark sein, wenn der Lichtbogen eine gewisse Weite hat, welcher bei der Construction die Grösse der Spulen, die Anzahl der Windungen, die Drahtdicke sowie Gestalt und Grösse des doppelconischen Eisenkernes anzupassen sind. Aendert sich der Lichtbogen durch Verbrennung der Kohlen, so schwächt der vermehrte Widerstand der Hauptleitung das magnetische Moment der Spule S, während die Wirkung der Spule S_1 wächst. Daher gleitet der Eisenkern so weit in die Spule S_1 hinein, bis die Kohlen die richtige Entfernung zu einander wieder erlangt haben.

Fig. 167.



Die Krizik-Piette'sche Lampe.

Mit dem Eisenkern sind nun Schnüre verbunden, welche über zwei an der Hülse A befestigte Rollen R gleiten und in der Weise mit dem unteren Kohlenhalter verbunden sind, welche aus Fig. 166 deutlich zu ersehen ist; durch das Gewicht des unteren Kohlenhalters ist der Eisenkern nebst dem oberen Kohlenhalter vollkommen äquilibrirt. Sobald also der Eisenkern nach unten gleitet und die obere Kohle sinken lässt, zieht derselbe die untere Kohle nach oben, so dass bei der betrachteten Hängelampe der Lichtbogen nicht nur die richtige Weite behält, sondern auch an demselben Puncte bleibt. Sobald der Bogen die normale Weite hat und die Spulen wiederum in gleicher Weise auf den Eisenkern einwirken, hört die Bewegung

des Kernes auf. Hiernach arbeitet die Lampe ganz stetig, da die Kohlen der Abnutzung entsprechend sofort vorgeschoben werden. Die Reibung bei diesem Vorgange ist sehr klein und daher ist eine sehr genaue gleichzeitige Regulirung eines oder mehrerer Lichtbogen für eine bestimmte Länge während der ganzen Brenndauer ausschliesslich durch den Strom und die eigenthümliche Form des Eisenkernes erreicht.

Fig. 168.



Die Krizik-Piette'sche Lampe mit Glocke.

Zur Erhaltung des Stromes im Falle des Erlöschens einer Lampe dient folgende automatische Ausschaltevorrichtung eines Theiles der Nebenschluss-Spirale. (Vergl. Fig. 166) *M* ist ein im Hauptstrome eingeschalteter Elektromagnet, *B* der hierzu gehörige, um den Punct *C* drehbare Anker, welcher durch ein Gegengewicht *Q* vom Elektromagnet entfernt gehalten wird, *D* ein an der Hülse isolirter Winkel, der mit einer Contactschraube und einer Klemme versehen ist. Von der letzteren führt ein Leitungsdraht *O* zu dem unteren Ende des die Spule S_1 umgebenden dicken Kupferdrahtes s_1, von dem auch die Lage dünnen Kupferdrahtes s_2 ausgeht. Durchfliesst der Strom den Hauptzweig P_1, Z, S, M, K, K_1, P_2, so zieht der Elektromagnet *M* den Anker *B* auf der einen Seite an, wodurch die am anderen Ende angebrachten Contactschrauben von einander entfernt und die ganze Nebenschliessung $(s_1 + s_2)$ eingeschaltet ist. Wird aber der Strom im Hauptzweige aus irgend einem Grunde unterbrochen, so hört die Anziehung des Elektromagnets *M* gänzlich auf, wodurch der Anker *B* abgerissen und durch die Contactschrauben der Theil der

Nebenschliessung s_2 kurz geschlossen wird. Der Gesammtstrom fliesst dann nur durch den aus stärkeren Kupferdrähten s_1 hergestellten Theil der Nebenspule (P_1, E, s_1, G, O, D, Q, H, P_2), so dass dem Durchgange des Stromes durch die Lampe ein freier Weg gelassen wird.[1])

III. Lampen zur Parallelschaltung.

In der Elektricitäts-Ausstellung zu Paris war Gelegenheit geboten, eine Lampe zu sehen, welche keinen Nebenschluss und keine Differentialspulen enthält und dennoch die Theilung des elektrischen Lichtes gestattet, sich also bei einer Stromquelle, auch wenn diese keine Partialströme liefert, zur Herstellung mehrerer Lichter mit *Volta*'schem Bogen verwenden lässt, sobald nur die Lampen nicht hintereinander, sondern nebeneinander geschaltet werden. Es ist dieses die

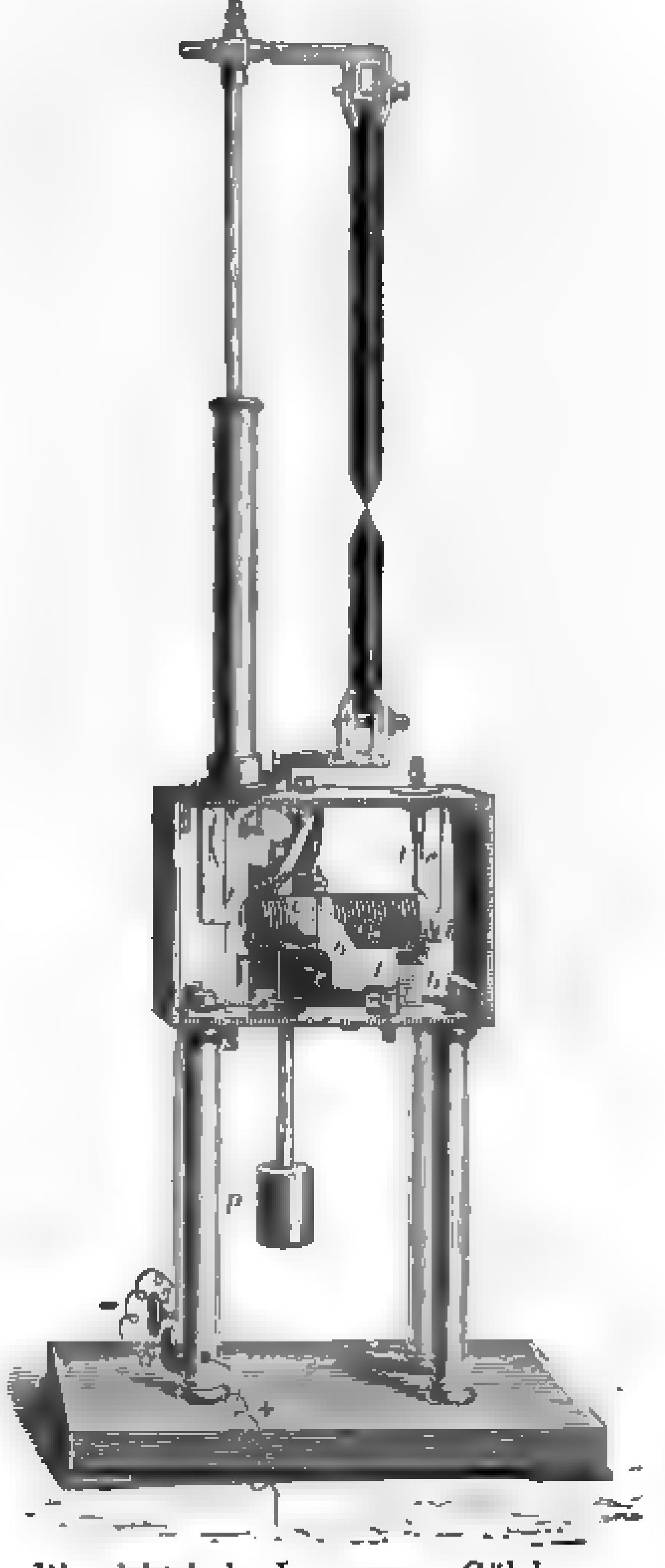
95. Elektrische Lampe von R. J. Gülcher[2]) in Bielitz-Biala. Das Constructionsprincip sowie die Wirkungsweise derselben werde an einer zu Demonstrationszwecken verfertigten und in Fig. 169 in perspectivischer Ansicht abgebildeten Lampe erläutert. Der positive Pol der Stromquelle wird mit der Klemmschraube A verbunden, von welcher der Strom durch den Fuss p zu dem auf dem Boden des den Lampen-Mechanismus umschliessenden Gehäuses befestigten, dabei wohl isolirten Ständer b geleitet wird. In diesem Ständer lagern die Zapfen eines Metallringes c, durch welchen ein stabförmiger Elektromagnet d befestigt wird

[1]) Ausser der beschriebenen Hängelampe, welche zum praktischen Gebrauche mit Hülle und Glocke (Fig. 168) versehen wird, können nach demselben Princip noch andere Modelle ausgeführt werden, so eine Hängelampe, bei der nur die obere Kohle beweglich ist, eine Standlampe, bei welcher der Bogen an derselben Stelle bleibt, und eine horizontale Lampe. Vgl. Z. f. a. E. 1881, p. 229, die theoretischen Betrachtungen über die Wirkungsweise der Lampe.

[2]) Vgl. Z. f. a. E., Bd. II, p. 374.

und eine drehende Bewegung um die erwähnten Zapfen machen kann. Der Strom fliesst nun vom Ständer *b* durch den Zapfen des Ringes *c* in diesen selbst; von hier gelangt er durch die mittelst ihres einen Endes mit dem Ringe *c* leitend verbundene Drahtumwicklung des Elektromagnets *d* um den Kern desselben und alsdann zu dem das Ende des Magnetkernes berührenden, aus einer schmiedeeisernen Stange bestehenden und in geeigneter Weise geführten Halter *f* der oberen Kohle, um schliesslich durch diesen, die Kohlenspitzen, den Halter der unteren Kohle und eine entsprechende Leitung zur zweiten Klemmschraube *g* zu fliessen, welche mit dem negativen Pole der Stromquelle verbunden wird.

Fig. 169.



Die elektrische Lampe von Gülcher.

Unter dem dem oberen Kohlenhalter *f* entgegengesetzten Ende des Elektromagnets *d* ist in einiger Entfernung ein kleiner prismatischer Eisenstab *h* am Gehäuse befestigt; ferner ist die am Magnetkern anliegende Feder *e* mit einem ähnlichen, aber kleineren Eisenprisma *i* versehen, und schliesslich drückt eine am Winkel-

hebel *k* befestigte, vom Gehäuse isolirte und durch eine Schraube stellbare Feder auf eine verlängerte Schraube des Metallringes *c* und bewirkt, dass der Elektromagnet sich an einen verstellbaren, durch eine einfache Schraube *l* gebildeten Anschlag anlegt, so lange kein Strom durch die Lampe fliesst. Die beiden Polschuhe des Elektromagnets sind nach Kreisbogen geformt, deren Mittelpuncte in der Zapfenmitte des Ringes *c* liegen, und sind gleich den sie berührenden Eisentheilen *f* und *i* mit einem dünnen Messing-Ueberzug versehen, theils um ein Rosten des Eisens zu verhindern, theils um ein richtiges Functioniren der Lampe zu sichern.

Sobald der Strom die Lampe durchfliesst, zieht der Elektromagnet den oberen Kohlenhalter *f* mit dem ihn berührenden Polschuh fest an. Gleichzeitig findet zwischen dem zweiten, nach unten etwas verlängerten Polschuh und dem prismatischen Eisenstab *h* eine gegenseitige Anziehung statt; da der Eisenstab *h* aber am Gehäuse befestigt ist, so ist der Polschuh gezwungen, sich diesem zu nähern, d. h. den Elektromagnet um die Zapfen des Ringes *c* zu drehen, wodurch der obere Kohlenhalter gehoben wird, so dass die Kohlenspitzen, welche sich vorher berührten, aus einander gehen und den Lichtbogen bilden.

Es ist klar, dass mit der Entfernung der Kohlenspitzen der Widerstand zu-, die Stromstärke und die Stärke des Magnets aber abnimmt, und dass somit diese die Stärke des Lichtbogens bedingende Entfernung der Stromstärke entsprechen muss, indem sich das Gewicht des oberen Kohlenhalters auf der einen Seite und die Anziehungskraft des Magnets auf der anderen Seite stets das Gleichgewicht halten. In dem Maasse nun, als die Entfernung der Kohlenspitzen durch Abbrennen grösser wird, wird andererseits der Magnetismus schwächer; in Folge dessen entfernt sich der Magnet wieder allmählich mehr und mehr vom Eisenstabe *h*, nähert dadurch die Kohlenspitzen um so viel als

sie verbrennen und setzt seine rückwärtsgehende Drehung so lange fort, bis diese endlich durch den Anschlag der Schraube *l* begrenzt wird.

Von diesem Moment an bleibt der Magnet vollständig in Ruhe; die Kohlenspitzen erhalten bald durch weiteres Abbrennen die Entfernung, welche den grössten der Stromstärke entsprechenden Lichteffect gibt. Sobald diese erreicht ist, wird bei weiterem Abbrennen der Kohlenspitzen die Anziehungskraft des Magnets so geschwächt, dass der obere Kohlenhalter *f* von seinem Polschuh nicht mehr genügend festgehalten wird und in Folge dessen an diesem herabzugleiten beginnt. Damit dieses leicht, gleichmässig und rechtzeitig erfolgt, sind der Kohlenhalter und der berührende Polschuh mit dem bereits erwähnten Messing-Ueberzug bekleidet. Dabei geschieht das Herabgleiten des Kohlenhalters nur in ganz kleinen Wegtheilen, da durch das geringste Nähern der Kohlenspitzen der Magnetismus sofort wiederum stärker wird, der Polschuh also den Kohlenhalter festhält und an zu weitem Sinken hindert. Sollte, was nur selten eintreten soll, der Kohlenhalter zu tief sinken, so würde der Magnetismus so stark werden, dass die Anziehungskraft des Eisenstabes *h* wieder, wie oben beschrieben, in Wirksamkeit treten würde, um das Spiel von Neuem zu beginnen.

Damit die Bewegung des Elektromagnets beim Anzünden der Lampe oder bei aussergewöhnlichen Regulirungs-Momenten nicht zu heftig wird, ist ein Pol des Elektromagnets mit der kleinen magnetischen Bremse *i* versehen, welche diesem Zwecke besser entsprechen soll, als ein durch Räder-Uebersetzungen in Bewegung gesetzter Windfang oder andere Vorrichtungen. Auch bei dieser Bremse verhütet der dünne Messing-Ueberzug des Polschuhes und des kleinen Eisenprismas *i* ein zu starkes Anhaften am Magnet und gestattet leichte und gleichmässige Bewegung.

Der Brennpunct wird bei den *Gülcher*'schen Lampen in constanter Höhe erhalten, die Kohlenhalter sind also in bekannter Weise mit einander verbunden, wonach die Bewegung des oberen Kohlenhalters eine entsprechende des unteren Halters nach sich zieht.

Es lässt sich nicht verkennen, dass sich die Lampe durch grosse Einfachheit auszeichnet und die Theile derselben keiner Abnutzung unterworfen sind; dieselbe functionirt auch so vorzüglich, dass man Fluctuationen des Lichtes durchaus nicht wahrnimmt.

Das Merkwürdigste ist jedoch die Schaltungsweise, welche die Theilung des elektrischen Lichtes mittelst der Lampe ermöglicht. Es wurde schon gesagt, dass zu diesem Zwecke die Lampen einfach neben einander und nicht, wie die Nebenschluss- und Differential-Lampen, hinter einander geschaltet werden; wenn also mehrere Lampen in paralleler Schaltung von derselben Maschine gespeist werden, so brennen sie ruhig mit einander und stören sich nicht gegenseitig. Der Grund hiervon ist unschwer zu erkennen, wenn die folgende, der Z. f. a. E., III, p. 390 entnommene Erörterung beachtet wird:

„Denkt man sich zunächst zwei der oben beschriebenen Lampen (Fig. 169) zwischen den Polen einer Elektricitätsquelle parallel geschaltet, so findet man leicht, dass die eine Lampe der Regulator der andern ist. Es sei zuerst die Lampe *A* durch Schliessung der zugehörigen Leitung angezündet worden: wenn nun die zweite Leitung der Lampe *B* geschlossen wird, so theilt sich der durch die Doppelschliessung entsprechend stärker gewordene Hauptstrom in zwei Theile. Der Theilstrom, welcher die Lampe *B* durchfliesst, ist aber stärker als der der Lampe *A*, weil sich bei *B* die Kohlenspitzen berühren und der Widerstand in dieser Zweigleitung also geringer ist als in der andern. Die Folge hiervon wird sein, dass die Lampe *B* sofort durch ener-

gische Wirkung des Elektromagnets, welcher die Kohlenspitzen von einander entfernt, zum Functioniren gebracht wird, und bei Lampe *A*, der Abnahme der Stärke des zugehörigen Theilstromes entsprechend, die Kohlenspitzen ein wenig genähert werden. Wenn nun bei der Lampe *B* die Entfernung der Kohlenspitzen grösser wird als bei der andern *A*, so muss die Stromstärke wieder in *A* zunehmen und bewirken, dass die Kohlenspitzen in *B* sich nähern; umgekehrt wird auch die Lampe *A* bei zu grosser Entfernung ihrer Kohlenspitzen bewirken müssen, dass bei *B* durch die Zunahme der Stromstärke in der zugehörigen Leitung der Elektromagnet die Entfernung der Kohlenspitzen vergrössert und hierdurch der Gesammtstrom um so viel geschwächt wird, dass der obere Kohlenhalter der Lampe *A* vom Elektromagnet nicht mehr getragen werden kann und deshalb herabgleiten muss, wodurch die Kohlenspitzen der Lampe *A* wieder einander genähert werden. Hierdurch wird der Zweigstrom in *B* wieder schwächer, der Magnet kehrt dort in Folge dessen in seine Ruhelage zurück u. s. f. — Man sieht, dass sich die beiden parallel geschalteten Lampen in ihrer gegenseitigen Wirkung ganz ähnlich verhalten wie die Spulen von verschiedenem Widerstande in den Differential-Lampen: die eine Lampe regulirt die andere und durch diese sich selbst, so dass binnen kürzester Zeit zwischen den beiden Lampen und ihren zugehörigen Theilströmen das Gleichgewicht hergestellt sein muss.

Sobald dies aber geschehen ist, kann eine dritte Lampe *C* zwischen den Polen derselben Elektricitätsquelle parallel eingeschaltet werden. Die beiden ersten Lampen, welche sich bereits gegenseitig regulirt haben, können nun als ein Ganzes ($A + B$) angesehen werden, welches bei Schliessung des zur Lampe *C* gehörigen Theilstromes durch diese (*C*), wie auch umgekehrt *C* durch $A + B$ regulirt wird. Ebenso wirkt dann *A* auf $B + C$ und *B* auf $A + C$ selbstthätig

und gegenseitig regulirend ein. Was aber von drei Lampen gilt, das hat auch für eine beliebige Anzahl von Lampen Gültigkeit, und es ist somit dargethan, dass sich die *Gülcher*'schen Lampen, ohne Hinzufügung irgend welcher besonderer Vorrichtungen, durch einfache Anordnung in Parallelschaltung zur Theilung des elektrischen Lichtes vortrefflich verwenden lassen.

Die Vorzüge einer guten Parallelschaltung und der mit derselben zusammenhängenden Anwendung quantitativ starker Ströme bestehen im Wesentlichen darin, dass das auf diese Weise erzeugte elektrische Licht gelblich bis weiss (ohne den violetten oder bläulichen Schein des Lichtes stark gespannter Ströme) ist; dass die Lampen in Folge ihrer grössten Einfachheit zu billigem Preise hergestellt werden können, dass von den neben einander geschalteten Lampen eine beliebige Anzahl ausgelöscht und wieder angezündet werden kann, ohne hierdurch die andern Lampen merklich zu beeinflussen oder zu diesem Zwecke irgend welcher Vorrichtungen wie Compensationswiderstände, Cutoffs etc. zu bedürfen; dass der Kraftverbrauch der dynamo-elektrischen Maschine der Anzahl von Lampen proportional ist, welche jeweilig von derselben gespeist werden; dass nach Belieben grössere oder kleinere Lampen (letztere dann in vielfacher Anzahl), sowie auch grosse und kleine Lampen zu gleicher Zeit von ein und derselben Maschine gespeist werden können; dass die Isolirung der Leitungen eine einfache und daher billige sein kann und schliesslich, dass die Bedienung der Lampen während des Betriebes, ja selbst die Berührung blanker Stellen der Leitungen mit ungeschützten Körpertheilen vollständig gefahrlos ist.

Alle diese Vorzüge werden durch die grosse Einfachheit und unmittelbare Wirkungsweise der *Gülcher*'schen Lampe erreicht, welche allein die Anwendung der Parallelschaltung ermöglichen.“

Des Weiteren wird an gesagter Stelle eine ebenso ein-

fache und sinnreiche als praktisch leicht ausführbare Methode erwähnt, um eine gleichmässige Vertheilung des elektrischen Stromes unter den einzelnen Lampen zu erzielen. Auf diese wollen wir nur verwiesen haben und führen nur noch das Urtheil der „Z. f. a. E.“ über das *Gülcher*'sche System an, da dasselbe nach allen Seiten hin gerecht und correct genannt werden darf.

„Es darf freilich schliesslich nicht vergessen werden, dass man unter sonst gleichen Umständen zu der Parallelschaltung nach der beschriebenen Methode das *n*fache Gewicht an Leitungsmaterial verbraucht, welches bei der Hintereinanderschaltung verbraucht wird. Die letztere ist theoretisch wegen ihres ungemein grossen Nutzeffectes die vorzüglichere. Doch ist durch die enorme Spannung der hierzu dienenden Ströme sehr bald eine praktische Grenze gesteckt. Eine ähnliche Grenze liegt für die beschriebene Parallelschaltung in dem grossen Verbrauch an Leitungsmaterial. Doch ist wohl zu beachten, dass die *Gülcher*'sche Lampe nur wenige Meter Draht in sich birgt. Hierdurch sowie durch ihre enorme Einfachheit wird der Verbrauch an Leitungsmaterial in der Praxis wohl meistens aufgewogen. Wie weit man nach dem *Gülcher*'schen Principe mit der Theilung des elektrischen Lichtes gehen darf, lässt sich nicht allgemein entscheiden, kann aber für jeden einzelnen Fall bequem berechnet werden. Wie dem aber auch sein mag, es ist gewiss, dass das *Gülcher*'sche System Qualitäten in sich birgt, welche über seine Zukunft keinen Zweifel lassen.“

Dass diese Ansicht keine vereinzelte ist, mag schon daraus geschlossen werden, dass das System *Gülcher* von der Jury der Elektricitäts-Ausstellung zu Paris durch die goldene Medaille ausgezeichnet wurde.

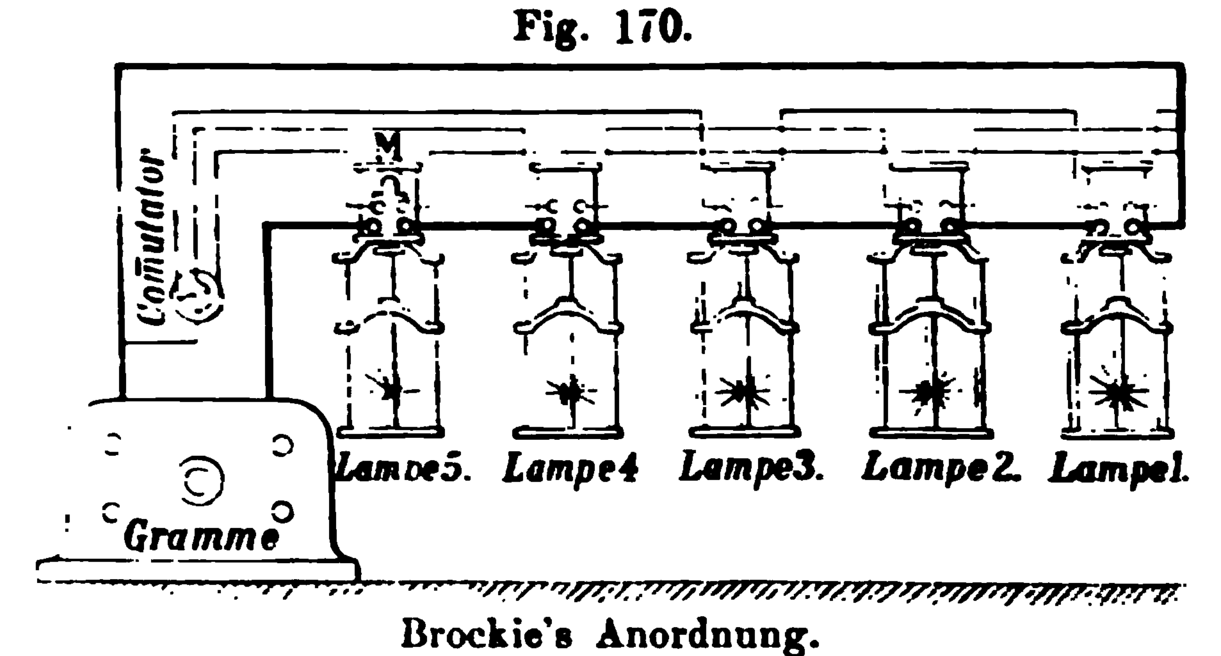
IV. Brockie's System.

Ganz eigenartig ist schliesslich

96. Brockie's elektrische Lampe, bei welcher die Ent-

fernung der Kohlenstäbe von einander nicht durch die Stromstärke, sondern ohne Rücksicht auf die letztere dadurch regulirt wird, dass die Kohlen durch die Wirkung eines Elektromagnets etwa alle Minuten oder noch öfters mit einander zur Berührung und sodann in die richtige Entfernung zu einander gebracht werden. Dazu werden dem Elektromagnet mittelst eines von einer Kraft- oder Dynamo-Maschine in Umdrehung erhaltenen Commutators kurze Ströme in entsprechend rascher Folge zugeführt; dabei lässt

Fig. 170.



Brockie's Anordnung.

der Elektromagnet einen Griff, der die oberen Kohlen hält, bald fallen, wodurch die obere Kohle auf die untere aufzuliegen kommt, bald in der Weise heben, dass er den Kohlen die gewünschte Distanz gibt. Dieses gibt den Lampen ein blinkendes Licht, welches zuerst unangenehm berührt, bald aber nicht mehr auffällt. Die Anordnung solcher *Brockie*'schen Lampen mag aus der Fig. 170 hervorgehen; dieselbe lässt erkennen, dass die Elektromagnete in einem aus dünnem Draht bestehenden Nebenschluss liegen, mit dem Hauptstrome aber, welcher durch die Kohlen geht, nicht in Verbindung stehen. Es ist ersichtlich, dass hiermit ein ganz neues Princip in die elektrische Beleuchtung eingeführt ist, dessen Werth durch weitere Versuche noch festzustellen ist. Bisher wurden die Erfolge verschiedenartig beurtheilt.

X. Abtheilung.

Elektrische Kerzen von Jablochkoff und Jamin.

(Diverse Lampen.)

Ehe *v. Hefner-Alteneck* die Vertheilung des elektrischen Lichtes, d. h. die Einschaltung mehrerer Lichter in ein und denselben Stromkreis, durch Erfindung seiner Differential-Lampe in genügender Weise möglich machte, war in dieser Richtung bereits ein Fortschritt durch *Paul Jablochkoff* in Russland geschehen, welcher das mechanische selbstthätige Einstellen des Lichtbogens verwarf und an Stelle der zu jener Zeit gebräuchlichen Lampen, die sogenannte elektrische Kerze setzte. Eine solche liess *Jablochkoff* am 30. October 1876 zuerst der Pariser Akademie vorzeigen. Die

97. Jablochkoff'sche Kerze (Bougie électrique) besteht aus zwei parallelen Kohlenstäbchen, welche nur durch einen kleinen Zwischenraum von einander getrennt und durch eine nicht leitende Substanz, mit welcher dieser Zwischenraum ausgefüllt ist, fest mit einander verbunden sind. Der elektrische Strom tritt in eines der Kohlenstäbchen ein und zu dem andern wieder heraus, wobei die Spitze da, wo der Strom von der einen Kohle zur anderen übergeht, bald weissglühend wird. Die nicht leitende Zwischensubstanz schmilzt in der Hitze des kleinen Lichtbogens und geht in Dampfform über; die Kohlenstäbchen werden so nach und nach frei und verbrennen langsam in dem Maasse, als die

isolirende Masse verdampft. Der ganze Process geht langsam und ruhig vor sich, wie das Abbrennen einer Wachskerze; die Kohlenstäbchen bilden gewissermaassen den Docht, die isolirende Zwischensubstanz das Wachs; doch bemerkt man an dem sehr intensiven, sehr schwach rosa oder violett gefärbten Lichte, welches von den glühenden Kohlen ausstrahlt und durch die glühenden Dämpfe der schmelzenden Isolirmasse noch bedeutend verstärkt wird, ein schwaches Flackern oder Zucken, bisweilen auch ein Schwanken der Lichtstärke.

Bei der Wahl des isolirenden Zwischenmaterials ist darauf zu sehen, dass dasselbe in der Hitze des kleinen, zwischen den Kohlenstäbchen sich bildenden Flammen- und Lichtbogens schmilzt und in Dampf übergeht, und dass die glühenden Partikelchen dieses Dampfes die Leuchtkraft der Kohle erhöhen. Die schwer schmelzbaren erdigen Substanzen sind fast alle mehr oder weniger hierzu geeignet; Sand, gepulvertes Glas, verschiedene Mörtel, Kaolin, gestossenes Porcellan, Gyps u. s. w. können alle hierzu dienen, und namentlich scheint Gyps eines der passendsten Bindemittel für die beiden Kohlenstäbchen zu sein.

Um zu bewirken, dass beim ersten Einlassen des Stromes in die elektrische Kerze derselbe über das Isolirmaterial hinweg seinen Weg von einem Kohlenstäbchen zum andern finde und das Anzünden derselben ohne besonderes Zuthun der Hand automatisch geschehe, gibt *Jablochkoff* den Kerzen die sehr einfache Einrichtung, dass beide Kohlenstäbchen auf ihrem obern Ende durch ein ganz kleines Graphitplättchen von 1 mm Länge und 1 mm Breite mit einander verbunden werden; das Plättchen selbst wird durch ein schmales Papierstreifchen festgehalten. Sobald der Strom der Kerze zugeführt wird, geht er durch dieses dünne Kohlenplättchen hindurch und macht dasselbe glühend. Es geht sofort in Dampf auf und es entsteht alsbald zwischen den einander

nahestehenden Kohlenenden der Lichtbogen. In Berührung mit der Luft verbrennen dieselben langsam; das Isolirmaterial schmilzt und verwandelt sich in Dampf, der nun weit besser leitend als die atmosphärische Luft bei dem *Volta*'schen Flammenbogen in Verbindung mit den geschmolzenen Materialien eine gut leitende Brücke zwischen den beiden Kohlenstäbchen bildet, auf welcher der Strom ungestört weiter circuliren kann.

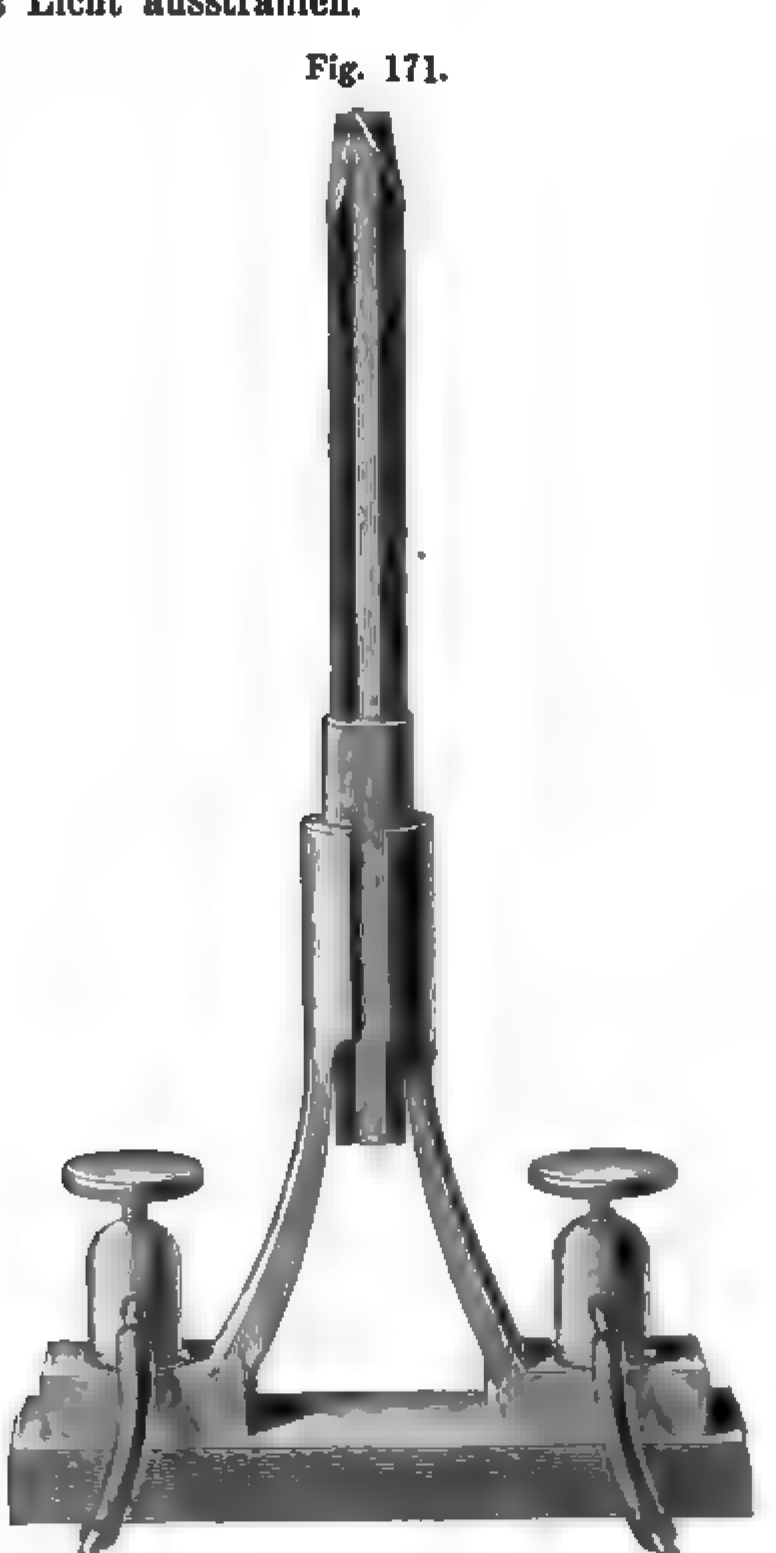
Die Fig. 171 zeigt eine solche *Jablochkoff*'sche Kerze der einfachsten Art. Jedes Kohlenstäbchen steckt mit seinem unteren Ende in einem Messingröhrchen, und diese Röhrchen sind ebenfalls von einander isolirt. Bei ihrem Gebrauche steckt man die Kerze zwischen die beiden federnden Kupferhülsen eines kleinen, mit Zuleitungsklemmen für den Strom versehenen Stativs, wie man eine Wachskerze auf den Leuchter stellt, und zündet sie an, indem man den Strom hindurchleitet.

Es lassen sich mehrere *Jablochkoff*'sche Kerzen hinter einander an verschiedenen Puncten eines und desselben Stromkreises einschalten; sie leuchten alle nach Maassgabe der Stromstärke, die man zu verwenden hat. Mit einer einzigen Kerze erhält man ein sehr starkes Licht, welches das Licht einer in denselben Stromkreis eingeschalteten Lampe an Intensität übertrifft; in dem Maasse, als man mehrere Kerzen einschaltet, wird das Licht einer jeden Kerze natürlich schwächer, aber es ist in Folge der unter Mitwirkung des Sauerstoffs der Luft vermehrten chemischen Thätigkeit bei der Verbrennung der Kohlenstäbchen und des Isolirmaterials die Summe der Lichtstärken aller Kerzen grösser als die Intensität einer einzigen Kerze.

Dass die isolirende Substanz zwischen den Kohlen auf die Lichtstärke der Kerzen von grossem Einflusse ist, liegt auf der Hand; dieselbe spielt hier eine ähnliche Rolle, wie der Kalkcylinder bei dem *Drummond*'schen Lichte, wo eben-

falls in der Hitze der Knallgasflamme die Kalktheilch
fein vertheiltem Zustande weissglühend werden und
blendendes Licht ausstrahlen.

Fig. 171.

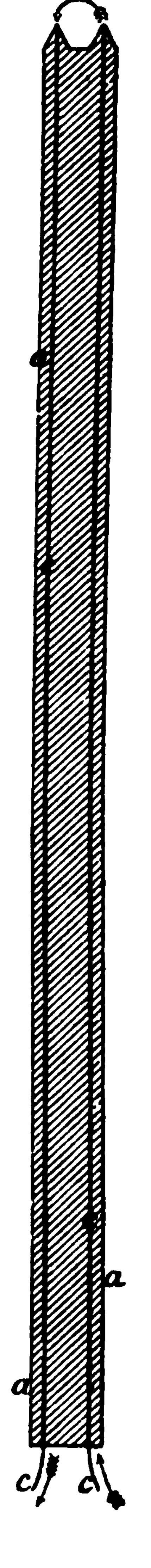


Die Jablochkoff'sche Kerze.

Die Erfahrung hat z. B. gelehrt, dass eine Gyp
zwischen den Kohlenstäbchen bei gleicher Stromstärk
doppelt so starkes Licht gibt, als eine Zwischenlage

Kaolin. Damit die Kerzen gleichmässig abbrennen, müssen die Kohlenstäbchen bei Anwendung von Wechselströmen gleiche Dimensionen haben; bei Anwendung von gleichgerichteten Strömen, wie sie von den dynamoelektrischen Maschinen von *Gramme*, *Siemens* u. s. w. geliefert werden, muss das mit dem positiven Batteriepole in Verbindung stehende Stäbchen einen doppelt so grossen Querschnitt erhalten, als das andere. In dem letzteren Falle geschieht indess das Abbrennen der Kerze doch nicht so gleichmässig als bei Anwendung von Wechselströmen, weil die Abnutzung der positiven Kohle nicht genau doppelt so gross ist als die der negativen in derselben Zeit. Es folgt hieraus, dass sich die magnet-elektrischen Maschinen mit Wechselströmen für den Betrieb der *Jablochkoff*'schen Kerzen besser eignen, als die dynamo-elektrischen mit Strömen gleicher Richtung.

Fig. 172.





Die Kerzen haben verschiedene Längen, doch sind die meisten, wie sie bis jetzt praktische Verwendung finden, 200 bis 225 mm lang bei 4 mm Durchmesser der Kohlenstäbchen; die mittlere Brenndauer ist 1½ Stunde, wenn die isolirende Zwischenlage aus Gyps besteht.

Die Gesellschaft „Societé générale d'Electricité", welche sich speciell mit der elektrischen Beleuchtung nach dem System *Jablochkoff* befasst, verfügt über ein bedeutendes Capital und scheut keine Mittel, fortwährend neue Versuche anzustellen und durch Vereinfachung und geeignete Construction der Kerzen diese

Art von Beleuchtung auf den höchsten Grad der Vollkommenheit zu bringen, dessen sie noch bedarf.[1])

Von grossem Interesse sind die Versuche, in denen die Kohlenstäbe durch zwei Metalldrähte ersetzt werden, die zufolge ihrer Homogenität jede Veranlassung zum Auslöschen der Flamme oder einer Veränderung ihrer Lichtstärke fortfallen lassen sollen. Als isolirende Schicht kommt zwischen die beiden Metalldrähte fossiler Kohlenstoff, z. B. Anthracit; das durch den *Volta*'schen Bogen abbrennende und dabei eine Gestalt wie in Fig. 172 annehmende Ende des Anthracits bildet alsdann zugleich einen leitenden Zünder zwischen den beiden Kohlenspitzen, welche das Wiederanzünden der etwa erlöschenden Kerze ermöglicht. Auch zwei einzelne mit Anthracit umgebene Drähte lassen sich zu einer Kerze neben einander stellen. Bei Verwendung von Eisendraht in einer isolirenden Magnesiaschicht tritt zur physicalischen Wirkung noch eine chemische, indem das weissglühende Eisen nach Behauptung der Erfinder die Magnesia zu Magnesium reducirt, das mit starkem Glanze verbrennt und sich wieder oxydirt, wobei es eisensaure Magnesia bildet. In die isolirende Schicht werden zur Erleichterung des Wiederanzündens Metallstückchen, z. B. Zink, bezw. bei der Verbrennung sich reducirende Metalloxyde in einem zwischen 1 und 10 % schwankenden Verhältnisse eingemengt. Solche Kerzen sollen sehr langsam brennen, etwa 1 cm per Stunde. Zur Zeit bedient man sich jedoch dieser neuen Kerzen in der Praxis nicht, bedient sich vielmehr der verbesserten Kohlenkerzen, welche nach *Fontaine* bei Anwendung geeigneter Milchglaskugeln mindestens 17 Gasflammen ersetzen dürften.[2])

98. Die elektrische Kerze von Jamin. Zur Beseitigung des Wärmeverlustes, der mit dem Schmelzen des die beiden Kohlen der Kerze trennenden Isolirungsmittels verbunden ist, haben mehrere Erfinder Kerzen construirt, in denen das feste Isolirungsmaterial wegfällt und durch eine Luftschicht ersetzt ist. *Rapieff*, *Siemens*, *Nysten*, *de Méritens*, *Thurston*, *Wilde* und Andere haben auf diese Weise die elektrische Kerze vereinfacht, doch scheint es nicht, dass diese Verbesserung von grossem praktischem Werthe gewesen ist.

[1]) Siehe die ausführliche Erörterung dieser Versuche: *Engineering*, Vol. XXXII, Nr. 819, 820, 821, 822.

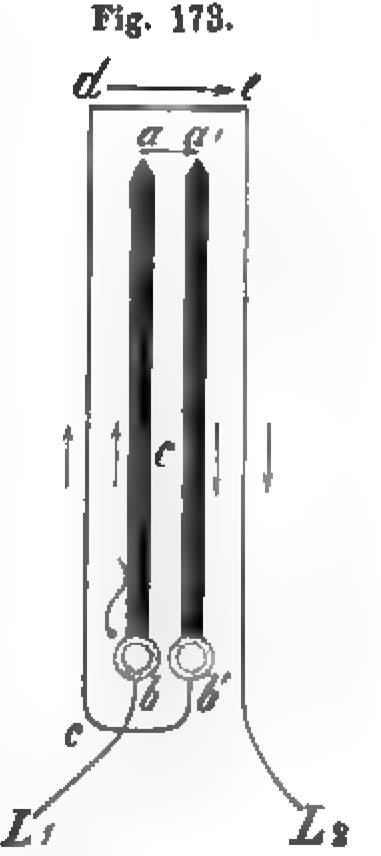
[2]) *Fontaine*, die elektrische Beleuchtung, p. 236 und ff.

Von grösserer Bedeutung dürfte die von *Jamin* construirte elektrische Kerze werden, über welche der Erfinder selbst der Pariser Akademie der Wissenschaften am 17. März 1879 Folgendes mitgetheilt hat:

„Der elektrische Lichtbogen, der zwischen zwei Kohlenspitzen erscheint, ist ein wirklicher elektrischer Strom. Unterwirft man ihn dem Einflusse eines benachbarten Stromes, eines Solenoids oder eines Elektromagnets, so äussern diese eine Einwirkung, die den *Ampère*'schen Gesetzen entspricht und mit derjenigen identisch ist, welche sie auf einen an die Stelle des Lichtbogens gebrachten metallischen Leiter ausüben würden. Da aber die Masse der Materie, welche den Lichtbogen bildet, ausserordentlich gering ist, so folgt er auch den äusseren Einflüssen sehr leicht; man kann ihn anziehen, abstossen, an einem Puncte festhalten, ihn drehen, kurz alle Versuche mit ihm anstellen, die man mit den beweglichen, von einem Strome durchlaufenen metallischen Leitern in der Physik anstellt. . . .

Ich bringe zwei Kohlen $a\ b$, $a'\ b'$ (Fig. 173), die mit den Polen einer Batterie oder einer *Gramme*'schen Maschine in Verbindung stehen, nebeneinander an und bilde bei C mittelst eines kleinen Kohlenstäbchens den Lichtbogen, indem ich beide Kohlen erst berühre und das Stäbchen dann entferne. Ich bringe hierauf hinter C den Nordpol oder vor C den Südpol eines Magnets oder auch beide zugleich. Es ist bekannt, dass nach dem Gesetze von *Biot* und *Savart* das Strom-Element C sich nach rechts von dem betrachteten Nordpol bewegen muss, und dieses zeigt der Versuch auch wirklich dadurch, dass sich der Lichtbogen sofort bis zur Basis $b\ b'$ der beiden Kohlen bewegt, dagegen aufwärts bis zur Spitze $a\ a'$ steigt, wenn man den Magnet umdreht. Er bleibt dann stehen, aber er verändert seine Form, krümmt sich und breitet sich unter ziemlich starkem sonorem Brummen in Blattform aus. Ist der Magnet stark genug, so erscheint der Bogen wie von unten nach oben geblasen, nimmt die Form einer lang- gestreckten Flamme an und verschwindet dann ganz.

Fig. 173.



El. Kerze von Jamin.

Dasselbe Resultat erhält man, wenn man die beiden Kohlen mit einem Rechteck $c\ d\ e\ L_2$ umgibt, welches von demselben Strome durchflossen wird. Jeder Theil dieses Rechtecks trägt (nach den dynamischen Gesetzen der elektrischen Ströme) dazu bei, den Lichtbogen

anzuziehen und in die Höhe zu bringen, wenn der Strom in den Kohlen, dem Lichtbogen und dem Rechteck dieselbe Richtung hat, oder ihn abzustossen und herunterzudrängen, wenn diese Richtungen entgegengesetzt sind. Je mehr Windungen man dem äusseren Drahte gibt, um so kräftiger wirkt er auf den Lichtbogen anziehend oder abstossend; vier Windungen genügen jedoch, um denselben in *a a'* zu fixiren und an den Kohlenspitzen festzuhalten, welche Lage man auch den Kohlen selbst geben mag, auch wenn man sie nach unten richtet.

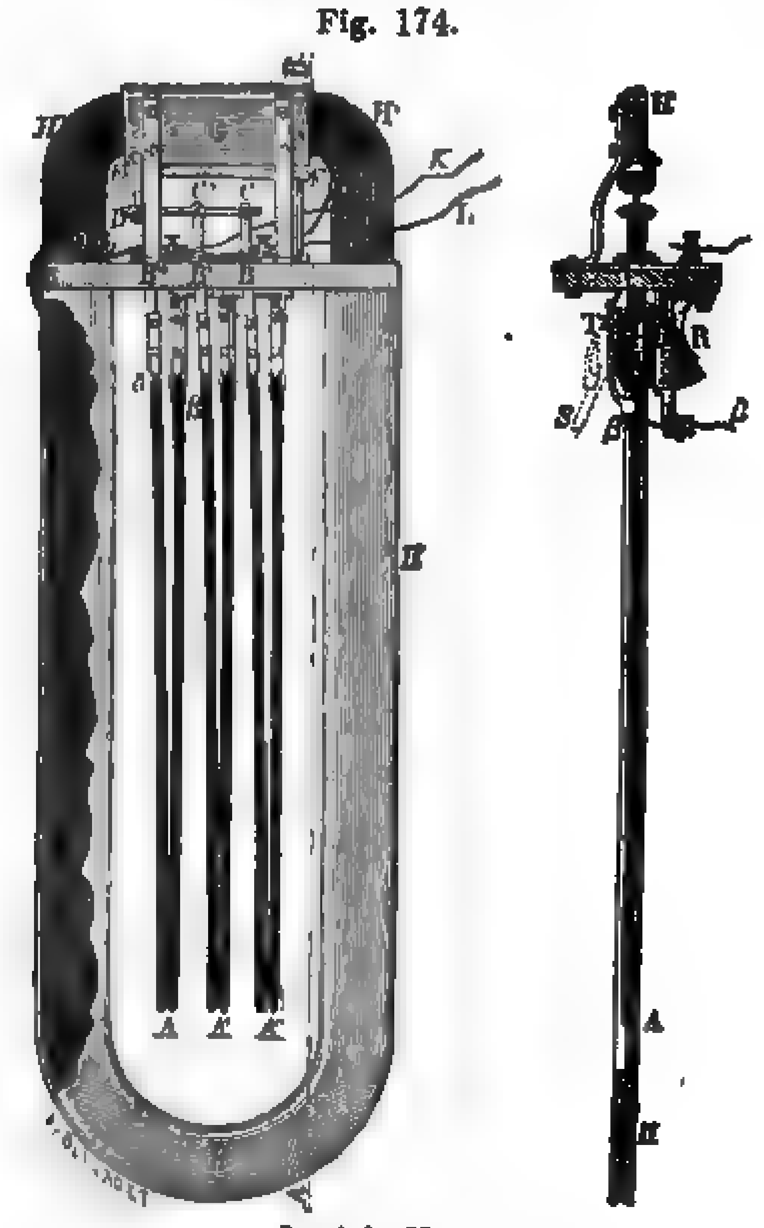
Hiernach ist klar, dass man den Bogen in *a a'*, d. h. in den Enden der Kohlen festhalten und das isolirende Zwischenmaterial entbehren kann. Wendet man einen continuirlichen Strom von gleichbleibender Richtung an, so strahlt die positive Kohle immer mehr Licht aus und nutzt sich schneller ab als die negative; dabei bleibt der Lichtbogen an ihrer Spitze und rückt mit dieser allmählich tiefer herab. Die negative Kohle brennt nur an der inneren, der anderen Kohle zugewandten Seite, ab; sie wird immer dünner, aber sie behält ihre ganze Länge, so dass sie zum zweiten Male verwendet werden kann. Bei Anwendung von Wechselstrom-Maschinen bleibt der Lichtbogen ebenfalls an der Spitze der Kohlen; diese brennen dann, wie bei der *Jablochkoff*'schen Kerze, gleichmässig ab und sind immer gleich lang.

Um den ersten Lichtbogen zwischen den Kohlen zu erzeugen, versehe ich diese an ihrem untern Ende mit zwei Gelenken *b b'*, um welche sie sich ein wenig drehen können, und mit einer Feder, welche sie an der Spitze mit einander in Berührung bringt. Geht nun ein Strom durch die Kohlen und das Drahtrechteck, so stossen sich erstere ab, weil sie von parallelen und entgegengesetzten Strömen durchlaufen werden. Ausserdem zieht *c d* die Kohle *a*, $e\,L_2$ die Kohle *a'* an, wogegen *c d* die Kohle *a'* und $e\,L_2$ die Kohle *a* abstösst. In Folge dieser einfachen Wirkung trennen sich die Kohlen sofort von einander und bilden beim ersten Durchgange des Stromes den Lichtbogen; so lange der Strom andauert, bleiben die Kohlen in der richtigen Entfernung von einander und kommen erst wieder zur Berührung, wenn der Strom aufhört zu circuliren. Das Ganze bildet daher eine ganz automatische Kerze, die nur einen einfachen Sockel erfordert; das Anzünden, die Regulirung des Lichtbogens auf die richtige Länge und das Erhalten des Bogens an den Enden der Kohlen erfolgen bloss unter der Einwirkung elektromagnetischer Kräfte. Es ist klar, dass diese Kräfte dem Quadrat der Stromstärke proportional sind und immer hinreichend stark gemacht werden können."

Jamin erhielt durch Herrn *Duvrien*, Präsidenten der Societé du Credit industriel et commercial bedeutende, ja unbegrenzte Unterstützung, und war daher in der Lage, fortwährend vielfache Untersuchungen und Experimente anstellen

zu können. Diese führten ihn schliesslich zur Construction einer praktisch verwerthbaren Lampe, über welche er am 31. Mai 1880 der Pariser Akademie Bericht erstattete. Dieselbe (Fig. 174) besteht aus einer Schieferplatte, welche in Kugeln oder Laternen befestigt wird. Die Platte trägt

Fig. 174.



Jamin's Kerze.

nach unten eine tiefe aber schmale kupferne Rinne *H H H*, nach oben eine Rinne *G* aus weichem Eisen. In diesen Rinnen ist ein feiner Kupferdraht 15—20 Mal aufgewunden, welcher den richtenden Schliessungsbogen bildet und die Ebene (*E*) bestimmt, in welcher die Kohlenstiftpaare befestigt sind. Zwischen den Kohlenstiften ist keine isolirende Substanz vorhanden; ein jeder steckt mit der Spitze nach

abwärts gerichtet in einer kupfernen Hülse. Die Träger, welche die zur Rechten befindlichen Kohlen der Paare tragen sollen, sind vertikal befestigt und mit einander leitend verbunden. Die Träger der anderen Stifte *a* aber sind so eingerichtet, dass die drei Stifte gleichzeitig in der Ebene *E* um gegebene Drehpunkte gedreht und ungleichzeitig senkrecht zur Ebene *E* verstellt werden können. Jenes wird dadurch erreicht, dass die Kohlenträger in den Gelenken *B B' B''* frei beweglich hängen und oberhalb der letzteren durch einen Querstift *C C' C''* verbunden sind, welcher selbst wiederum mit dem zweiarmigen Hebel *D E F* in Verbindung steht, den Drehungen desselben um *E* nachgibt und so bewirkt, dass die Kohlenträger sich um die Gelenke *B B' B''* drehen. Ein solcher Träger trägt ferner an der hintern Seite ein Gelenk *T*, um das der Kohlenhalter *S* senkrecht zur Ebene *E* verstellt wird, sobald derselbe dem Drucke der Feder *R* nachgeben kann; dieses kann nicht geschehen, solange der Kohlenhalter in der Vertikalen durch einen Messingdraht *β β* gehalten wird, der an einem Ende hakenförmig umgebogen ist und mit starker Reibung durch eine Kluppe geht, wo eine Feder auf ihn drückt.

Die Platte *E F*, welche vor der Rinne *G* liegt, zieht, der obigen Einrichtung gemäss, durch ihr Gewicht den Querstift *C C'* nach links, die unteren Enden der beweglichen Kohlenstäbe also nach rechts, so dass der längste derselben den ihm zur Rechten hängenden festen Kohlenstab berührt. Schaltet man daher die *Jamin*'sche Kerze in einen Stromkreis ein, so durchläuft der elektrische Strom den richtenden Schliessungsbogen, die beweglichen Kohlen und die feste Kohle, welche mit einer beweglichen Kohle in Berührung steht. Zugleich tritt aber auch die Magnetisirung der Rinne *G* ein, die Platte *E F* wird angezogen, die Kohlenpaare entfernen sich von einander, so dass an dem einen Kohlenpaare der Lichtbogen sich entfaltet. Er verbleibt daselbst

so lange, als Kohlenmaterial vorhanden ist, da er durch die Einwirkung des richtenden Schliessungsbogens festgehalten wird und wieder zurückgeht, wenn ihn eine störende Ursache davon entfernte. Ist aber die Kerze bis oben abgebrannt, so wird durch die Hitze der Draht $\beta\,\beta$ abgeschmolzen; der eine Kohlenhalter entfernt sich aus der Vertikalen, die beiden Kohlen werden plötzlich von einander entfernt und der Lichtbogen erlöscht. Damit hört aber auch der Strom zu circuliren auf. Die Platte $E\,F$ fällt alsdann herab und dadurch wird wiederum der Contact zwischen der längsten der noch vorhandenen beweglichen Kohlen und der zugehörigen festen Kohle hergestellt, der Strom circulirt von neuem, die Kohlen entzünden und entfernen sich alsdann wieder, wie das erste Mal. Die Entzündung geschieht also automatisch und kann nach Belieben hergestellt werden; sie geschieht so rasch, dass man kaum den Wechsel und gar keine Schwächung der andern Lampen in dem gleichen Schliessungsbogen wahrnimmt.

Nach dem Berichte *Jamin's* vereinigt die Lampe mehrere wesentliche Eigenschaften: „Sie kann beliebig oft entzündet und wieder angezündet werden; sie erfordert für alle benachbarten Kerzen nur einen einzigen Schliessungskreis; sie ersetzt automatisch die vollständig verbrannten Kohlen durch neue; sie erfordert keine isolirende Substanz, durch deren Beschaffenheit die Farbe der Flammen geändert werden könnte, noch hat sie irgend eine Vorbereitung der Kohlen nöthig, wodurch die Kosten beträchtlich vermindert werden.....“

Jamin veröffentlichte eines der Resultate seiner zahlreichen Versuche, zu denen er eine *Gramme*'sche Maschine für vier Lichter gebrauchte. Dasselbe lautet folgendermaassen:

„Geschwindigkeit: 1530 Umläufe.

Anzahl der Lampen.	Intensität		Verbrauch der Maschine an Pferdekräften	
	jeder Lampe	totale	totale	pro Kerze.
1	134	134	2,81	2,81
2	113	226	3,56	1,79
3	107	321	4,07	1,38
4	105	420	4,43	1,11
5	95	475	4,70	0,94
6	96	576	4,91	0,82
7	93	651	5,04	0,72
8	92	736	5,11	0,64
9	86	764	5,09	0,57
10	74	740	5,07	0,51
11	70	771	5,04	0,46
12	62	740	5,01	0,42
13	56	718	4,80	0,37
14	50	700	4,60	0,32

Man sieht, dass der Verbrauch an Pferdekräften, sowie das Gesammtlicht bis zu 9 Lampen wächst, darüber hinaus aber wieder allmählich abnimmt. Es ist klar, dass, wenn man ein grosses Gesammtlicht erhalten will, man bei diesem Maximum stehen bleiben muss, dass man aber darüber hinauszugehen hat, wenn man viele schwächere Lichter erhalten will. So kann man bis zu 14 Kerzen von 0,004 m Durchmesser brennen, wenn man nur ein Drittel einer Pferdekraft verlangt. Besser aber wird man bei 12 Kerzen und einer halben Pferdekraft stehen bleiben; das Licht ist dann schöner und weniger unruhig. In dem Maasse, als die Kohlen verbessert werden, wird man diese Grenze überschreiten.

Was das Licht einer jeden Lampe betrifft, so nimmt es mit ihrer Anzahl ab. Ein einziges Licht, mit einer Geschwindigkeit von 1530 Umläufen, kommt 134 Carcel-Brennern gleich; zwei Lichter reduciren sich jedes auf 113 C.-Brennern und bei 14 Lichtern hat jedes bloss eine Lichtstärke von 50 C.-Brennern; man hat also die Division einer Gesammtsumme, mit abnehmendem Quotienten.

Wie man sieht, ist diese Lichtmenge viel bedeutender als bei den gewöhnlichen Kerzen; der Grund davon liegt in der Richtung der Kohlen, welche von unten nach oben und nicht von oben nach unten abbrennen. Brennen die Kohlen von oben nach unten ab, so wird der Himmel erleuchtet, was unnütz ist; brennen sie dagegen von unten nach oben ab, so erleuchtet man den Boden, was man haben will. Andererseits verlässt die Flamme des Lichtbogens, die immer zu steigen strebt, die Kohlenspitzen und erhitzt sie nicht wieder, wenn

sie nach aufwärts gerichtet sind; stehen sie dagegen nach abwärts, so umhüllt sie die Flamme des Lichtbogens und bringt sie in eine Atmosphäre mit sehr hoher Temperatur, wodurch ihre Helligkeit bedeutend wächst und ihre Erkaltung verhindert wird. Eine photometrische Vergleichung zweier identischer Kerzen in dem gleichen Schliessungsbogen hat ergeben, dass die Helligkeit der nach abwärts gerichteten Spitzen fünf Mal so gross ist, als die der nach aufwärts gerichteten. Wenn dabei auch ihre Temperatur sehr bedeutend ist, so ist die Wärmemenge doch nicht gross, weil der Lichtpunct nur klein ist. Ich habe diese Wärmemenge mit der eines Carcel-Brenners verglichen, indem ich der Reihe nach einen solchen und dann eine elektrische Kerze in das gleiche Calorimeter brachte. Im Mittel und bei gleicher Lichtstärke entwickelt die Verbrennung des Oeles 45 Mal so viel Wärme als der *Volta*'sche Bogen.

Es erübrigt mir noch über die Distanz zu sprechen, bis zu welcher man das Licht fortführen kann; dieselbe ist um so grösser, je rascher die Maschine rotirt. Bei 1500 Umläufen kann man in den Schliessungsbogen 1 km Kupferdraht von 0,001 m Dicke einführen, ohne dass die Abnahme der Helligkeit bemerklich wird; bei 2000 Umläufen kann man bis zu 4 km dieses Drahtes oder 16 km von 0,002 m Dicke gehen Man begreift so, wie man eine grosse Stadt von einem Puncte aus radial nach allen Richtungen erleuchten könnte. [1]"

Zu den Kerzen muss auch

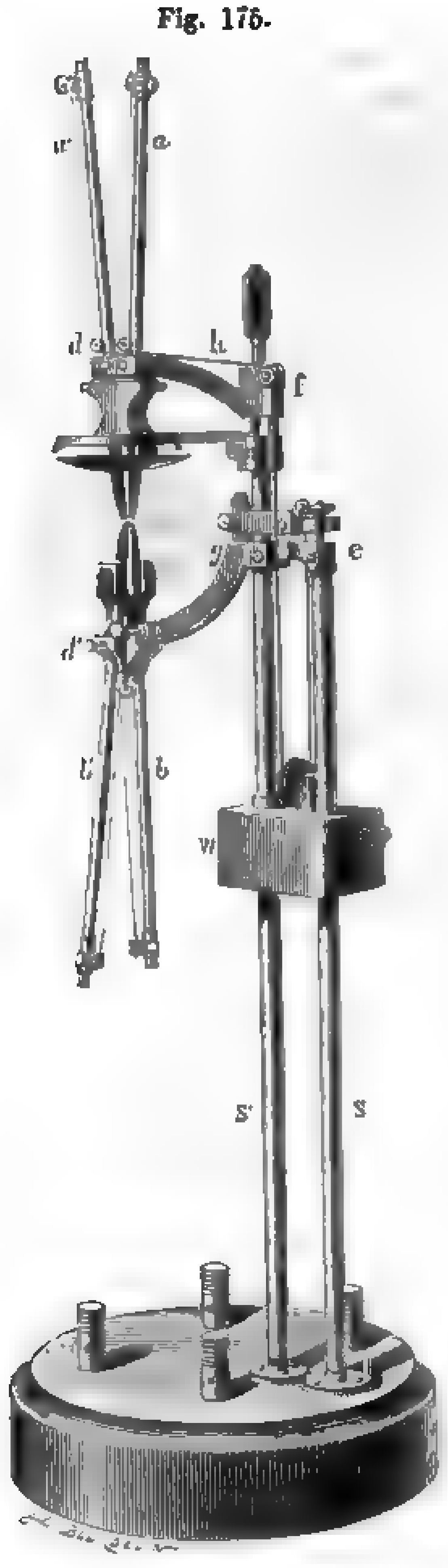
99. Andrew's elektrische Lampe gerechnet werden. [2])

Dieselbe besteht aus drei trapezförmigen Kohlenplatten, die mit ihren Seitenflächen parallel neben einander gestellt sind. Von der mittleren (1/32" dick) sind die beiden äusseren (1/8" dick) an den untern Kanten durch Schieferplatten getrennt. Die drei Kohlenplatten werden mitsammt den Schieferplatten von zwei Federn fest zusammengehalten, welche zudem den Strom zu den äusseren Platten führen. Die Entzündung der Lampe geschieht durch einen unterhalb der Platten senkrecht befestigten stabförmigen Elektromagnet, welcher vom Strome durchflossen, einen zu seiner untern Fläche gehörigen, rechtwinkelig gebogenen, hebelartig befestigten Anker anzieht und hierdurch ein Stückchen Kohle fortzieht, welches im gewöhnlichen die äusseren Platten unten berührt und somit verbindet. Alsdann erscheint der Bogen und bewegt sich, da die Platten an der Seite, wo das Kohlenstückchen anlag, schräg abgeschnitten sind, langsam nach den oberen Kanten der Kohlenplatten. Diese verzehren dann wie eine Kerze; die mittlere Platte verbrennt in gleicher Weise und verhindert, dass der Bogen die Kanten der Platten verlässt und sich in das

---

[1]) Cfr. Z. f. a. E., II, p. 249. — [2]) ib. III, p. 167.

Fig. 175.



Rapieff's Lampe.

Innere begibt. Die Haupteigenthümlichkeit der Lampe besteht darin, dass eine einmalige Beschickung von Kohlen etwa 70 Stunden brennt, die Lampe somit nur einmal in der Woche bedient zu werden braucht. Das Licht derselben soll ein ruhiges sein.

100. Diverse Lampen (*Staite* und *Edwards*, *Rapieff*, *Heinrichs*).

Die Kerzen von *Jablochkoff* und *Jamin* werden von *Uppenborn* recht passend als Lampen betrachtet, bei denen die Constanz der Elektroden-Entfernung durch mathematische Construction gegeben ist. Es lag in der That nahe, den gleichförmigen Zwischenraum zwischen den Kohlenstäben unter Ausschluss jedes physikalischen Hülfsapparates durch rein mathematische Constructionen anzustreben; so geschah schon von *Staite* und *Edwards* 1846,[1]) welche folgendermaassen eine Lampe construirten. Zwei in Metallhülsen verschiebbare Kohlenstäbe trafen in geringer Entfernung von einander schräg auf einen Klotz von isolirendem Material, Kreide oder dergleichen. In demselben Maasse, als die Kohlenstäbe abbrannten, wurden sie von Spiralfedern aus den Hülsen gegen den Klotz geschoben. Dieses einfache Princip stiess aber auf grosse Schwierigkeiten. Einmal resultiren aus der Abweichung der Elektroden von der linearen Form gewisse Unregelmässigkeiten; sodann waren die Kohlenstäbe der

[1]) Vgl. *Fontaine*, die elektrische Beleuchtung 1880, p. 16, sowie E. Z. II, p. 73, *Bureau's* Lampe.

damaligen Zeit meist gesägte Retortenkohlen, nichts weniger als homogen, und schliesslich wurde der Kreideklotz sehr bald zerstört. Es scheint, als ob die auf demselben Princip beruhende „Lampe Soleil" bessere Resultate gegeben hat. *L'Electricité* berichtet, dass eine an dem Plafond des Hôtel Continental in Paris aufgehängte Lampe dieser Art mit nennenswerthem Erfolge gebrannt habe. Auf etwas anderem Wege suchte *Rapieff*[1]) das Regulirwerk entbehrlich zu machen. Derselbe liess zwei Kohlenstäbe mit den Spitzen schräg zusammenstossen. Hierdurch hinderten sich beide am weiteren Fortrücken. Zwei solcher Paare wurden übereinander gestellt, so dass sich der Lichtbogen zwischen allen vier Spitzen bildete. (Vgl. Fig. 174.)

Derartige Lampen (s. *Fontaine* p. 17) wurden s. Z. in der Times-Druckerei in London aufgestellt, aber später, da sie nicht gleichmässig brannten, wieder entfernt. Ob sich die Lampen von *Heinrichs*[2]) besser bewähren werden, bleibt abzuwarten. Bei einer derselben, der sogenannten „elektrischen Kerze", benutzt *Heinrichs* zwei Paare kreisförmig gekrümmter Kohlenstäbe in zwei vertikalen, zu einander normalen Ebenen; dieselben werden bloss durch ihr Gewicht gegen einander bewegt in dem Maasse, wie sie verbrennen. Das mit dem positiven Pole verbundene Kohlenpaar ist so mit dem Anker eines Elektromagnets verbunden, dass es beim Auftreten des Stromes ein wenig über das bisher von ihm berührte, mit dem negativen Pole verbundene Paar empor gehoben wird. Die Kohlenstäbe eines jeden Paares bleiben bloss durch ihr Gewicht trotz des Abbrennens mit einander in Berührung und durch Kegelräder ist in einfacher Weise dafür gesorgt, dass die zwei Berührungspuncte der beiden Paare einander gegenüber bleiben.

---

[1]) *Dingler's* Pol. J., Bd. 230, p. 186, *Fontaine* l. c., p. 17, sowie Z. f. a. E., Bd. III, p. 61, *Lescuyer's* Lampe.

[2]) Z. f. a. E. 1881, p. 154, 172, 290; E. Z., I, p. 70, 180; *Dingler's* Pol. J., Bd. 236, p. 252, sowie *Engineering*, Vol. XXXII, Nr. 815.

XI. Abtheilung.

Die Incandescenz-Beleuchtung.
(Glühlicht-Lampen.)
Versuche mit Inductionsrollen.

Es erübrigt, diejenige Art des elektrischen Lichtes zu besprechen, welche in neuester Zeit wieder viel von sich reden macht und mehr denn je die elektro-technische Welt beschäftigt, da dieselbe gegen Erwarten sich zu bewähren scheint, und dadurch die Theilung des elektrischen Lichtes in weiter Vollendung durchzuführen erlaubt: das elektrische Glühlicht oder die sogenannte Incandescenz-Beleuchtung. Das ganze Gebiet derselben lässt sich füglich in zwei Gruppen eintheilen; die eine Gruppe umfasst diejenigen Lampen, bei denen der Sitz des Widerstandes ein Contact ist, die andere solche, bei denen der Sitz des Widerstandes ein continuirlicher Leiter ist.

A. Glühlichter mit unvollkommenem Contacte.

Wenn es sich darum handelt, ein oder mehrere Lichter von sehr grosser Intensität zu erzeugen, so ist man auf den *Volta*'schen Flammenbogen angewiesen, in dem das Licht dadurch entsteht, dass sich eine sehr bedeutende Quantität Elektricität in Folge des grossen Widerstandes, welchen eine zwischen den Kohlenspitzen befindliche Luftschicht dem Durchgange der Elektricität entgegensetzt, in Wärme umsetzt und diese Wärme die Kohlen bis zum Verdampfen weissglühend macht. In dem Maasse, als man diese, zwischen

den Kohlen befindliche Luftschicht kleiner macht, wird der Widerstand derselben auch kleiner, und es reicht dann schon ein Strom von geringerer Intensität hin, den Widerstand zu überwinden und einen kleineren Lichtbogen von geringerer Leuchtkraft zu erzeugen. Es zeigt sich dabei, dass, wenn man den Abstand der Kohlen ganz oder beinahe ganz unterdrückt, die Erscheinungen verschieden ausfallen, je nachdem man den Kohlen gleiche oder ungleiche Querschnitte gibt.

Werdermann hat den letzteren Fall eingehend untersucht und ist dabei zu folgenden Resultaten gelangt. Wenn man den Querschnitt der positiven Kohle nach und nach verkleinert und den der negativen vergrössert, so nimmt die an der letzten bei gleichen Querschnitten stets auftretende Rothgluth immer mehr ab, wogegen die an der positiven Kohle sich entwickelnde Hitze im Verhältnisse zu der Abnahme des Querschnittes zunimmt. Der elektrische Strom überwindet dann nicht mehr den Abstand der Kohlen mit derselben Leichtigkeit, als bei Kohlen mit gleichen Querschnitten, und um den Lichtbogen zu erhalten, müssen die Kohlenenden einander näher gebracht werden, damit der Strom die noch zwischen ihnen befindliche Luftschicht überwinden könne. Geschieht dieses, so zeigt sich im Strome das Bestreben, die Querschnitte beider Kohlen gleich zu machen; je grösser dabei die Differenz zwischen diesen Querschnitten ist, um so kleiner muss man ihren Abstand nehmen, um eine allzu grosse Erbreiterung der positiven Kohle zu verhüten, und gleichzeitig muss man zu demselben Zwecke den Strom etwas abschwächen, die Tourenzahl der Lichtmaschine also etwas verringern. Man kommt dabei bald an eine Grenze, wo der Abstand der beiden Kohlen unendlich klein wird, d. h. wo die Kohlen sich berühren. Dieses tritt ein, wenn die Querschnitte der positiven und negativen Kohle sich verhalten etwa wie 1 zu 64; die ne-

gative Kohle erhitzt sich dann fast gar nicht und erleidet daher auch keine Abnahme; nur die positive Kohle nutzt sich ab und verbrennt langsam unter einem sehr schönen, ruhigen Lichte so lange, als eine innige Berührung zwischen den beiden Kohlen stattfindet.

Man kann darüber streiten, ob dieses Licht ein reines Glühlicht ist oder ob es von einem allerdings nicht sichtbaren, unendlich kleinen Lichtbogen ausgestrahlt wird; doch unterscheidet sich dasselbe so sehr von dem Lichte des gewöhnlichen Flammenbogens, dass die auf diesem Princip gebauten Lichter gewöhnlich zu der Classe der Glühlicht- oder der Incandescenz-Lampen gerechnet werden.

101. Die Glühlicht-Lampe von Reynier. Gleichzeitig mit *Werdermann* hatte der Franzose *Reynier* über das Glühen von Kohlen mit ungleichen Querschnitten eine Reihe von Versuchen angestellt und eine Glühlicht-Lampe construirt, welche zwar anfangs noch complicirt war, weil in derselben ein dünnes Kohlenstäbchen durch ein Uhrwerk beständig gegen eine dickere Kohle angepresst werden musste, die jedoch so günstige Resultate gab, dass der Erfinder auf ihre Vereinfachung bedacht war und schliesslich zu dem Modell kam, welches in Fig. 176 abgebildet ist. Demselben liegt folgendes Princip zu Grunde.

Wenn ein dünnes Kohlenstäbchen in der Richtung seiner Achse gegen ein grösseres Stück Kohle angedrückt wird und in der Nähe des Contactpunctes einen seitlichen Druck von einem andern Kohlenstäbchen erfährt, so kommt das zwischen den beiden Contactpuncten liegende Stück des dünnen Kohlenstäbchens unter der Einwirkung eines hinlänglich starken Stromes zum Weissglühen und verbrennt, während das auf die dickere Kohle drückende Ende sich zuspitzt. In dem Maasse, wie sich das Stäbchen durch diese Verbrennung abnutzt, wird es durch einen in seiner Achse darauf wirkenden Druck weiter geschoben, wobei es stets

an dem seitlichen Contacte vorbeigleitet und auf der dickeren Kohle aufruht. Dadurch, dass die Kohle sich mit dem Sauerstoff der Luft verbindet und verbrennt, wird Wärme entwickelt und dadurch der Effect des elektrischen Glühens noch erheblich erhöht.

Die nach diesem Princip von *Reynier* ursprünglich construirten Lampen (Fig. 176) bestehen im Wesentlichen aus folgenden Theilen. Das dünne positive Kohlenstäbchen steckt in dem obern Querarm einer viereckigen Messingstange, welche im Innern des Lampenständers zwischen vier kleinen Messingröllchen durch das eigene Gewicht herabsinkt. Die negative Kohle hat die Form einer kreisrunden Scheibe und wird von einer den obern Theil des Lampenständers umfassenden und von den metallischen Theilen dieses Ständers völlig isolirten Gabel gehalten; die Gabel selbst ist ausserdem um einen Zapfen in der Achse der Tragsäule drehbar.

Das Kohlenstäbchen geht etwas oberhalb der Kohlenscheibe an einem kupfernen Gleitröllchen vorbei und erhält dadurch für den untern Theil seine Führung; zwischen diesem Gleitröllchen und der Kohlenscheibe aber befindet sich der seitliche

Fig. 176.



Glühlicht-Lampe von Reynier.

Contact, der durch einen kleinen in einem drehbaren Hebel eingespannten und durch sein Gewicht gegen das positive Kohlenstäbchen drückenden dickeren Kohlenstift hergestellt wird.

Der Strom tritt an der linksseitigen Klemme in die Lampe ein, geht durch den ganzen Lampenkörper und von dem oberhalb der Kohlenscheibe anfedernden dickern Kohlenstift in das kurze untere Stück des verticalen Kohlenstäbchens, sodann in die negative Kohlenscheibe und in die vom Gestelle isolirte Gabel, endlich durch einen (in der Figur sichtbaren) dicken Leitungsdraht zur negativen Polklemme und zur Leitung weiter.

Die Gabel liegt mit ihrem hinteren Ende auf einem kleinen Hebel auf, der gegen den viereckigen oberen Kohlenträger drückt. Dieser letztere hat das Bestreben, durch sein Gewicht herabzufallen, wird aber dadurch, dass das verticale Kohlenstäbchen an der Kohlenscheibe seitlich aufliegt, am Fallen gehindert und kann nur dadurch sehr langsam heruntergleiten, dass das obere Kohlenstäbchen abbrennt. Die obere Kohlenspitze liegt jedoch nicht in derselben Verticalen, in welcher die Achse der Kohlenscheibe sich befindet, sondern seitlich um 30° davon entfernt, so dass durch die Wirkung der tangentialen Seitenkraft des verticalen Drucks zugleich eine langsame Drehung der Kohlenscheibe bewirkt wird, was nothwendig ist, um das Ansammeln von Asche des darüber befindlichen Kohlenstäbchens zu verhüten. Andererseits wirkt das Gewicht des Kohlenträgers auch durch die drehbare Gabel und den Hebel als Bremse und verhindert das zu rasche Herabsinken und das Abbrechen der Spitze des glühenden Kohlenstäbchens.

Die Kohlenstäbchen haben einen Durchmesser von 2mm bei einer Länge von 30cm und halten bei einer mässigen Stromstärke zwei Stunden aus. Nach *Fontaine* gab eine solche Lampe mit einer Batterie von 12 *Bunsen*'schen Elementen ein Licht von 15 bis 20 Becs-Carcel. (S. 296.)

Erwähnenswerth ist ferner eine Versuchsreihe, die derselbe Ingenieur mit mehreren in denselben Kreislauf hinter einander eingeschalteten *Reynier*'schen Lampen unter Anwendung einer *Gramme*'schen Maschine angestellt hat.

Die Maschine machte 920—930 Touren in der Minute. Zwischen der Maschine und den Lampen befand sich ein Kupferdraht von 100m Länge und 3mm Durchmesser. Die angewandten Kohlenstäbchen von *Carré* (S. 311) hatten einen Durchmesser von 2mm; die Strecke des leuchtenden Theiles zwischen den beiden Contacten betrug 5 bis 6mm.

Es ergaben sich folgende Resultate:

Zahl der hintereinander eingeschalteten Lampen.	Ausschlag des Galvanometers.	Lichtstärke jeder einzelnen Lampe in B.-Carc.	Summe der Lichtstärke in allen Brennern in B.-Carc.
5	25°	15	75
6	22°	13	78
7	20°	10	70
10	15°	5	50

Ein *Serrin*'scher Regulator gab unter den gleichen Verhältnissen eine Lichtstärke von 320 B.-Carc.

Die *Reynier*'sche Lampe empfiehlt sich für schwächere Lichtstärken durch Einfachheit der Construction, Leichtigkeit in der Handhabung und durch niedrigen Preis, so dass sie für die Zwecke der physicalischen Cabinette und der Laboratorien, welche keine Lichtmaschinen besitzen und nur über Stromstärken mittlerer Grösse verfügen können, auch in ihrer früheren Construction gute Dienste leistet, während die neuen Modelle auch zur allgemeinen Beleuchtung verwendbar sind.

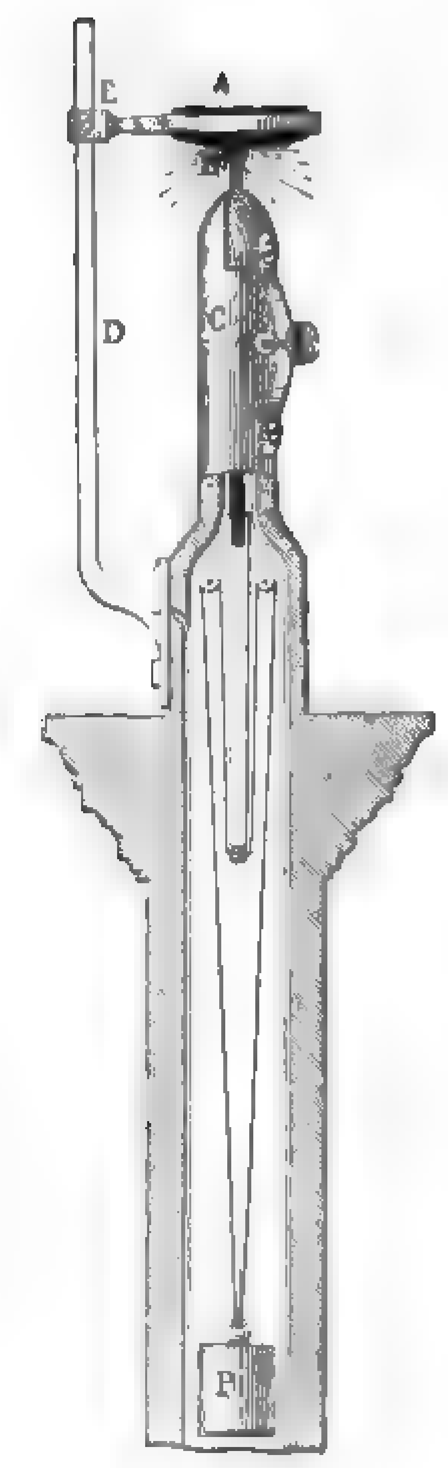
Die Glühlicht-Lampe von *Marcus* in Wien unterscheidet sich von der Lampe *Reynier* nur durch einige unwesentliche Abänderungen in der Construction und bedarf daher keiner eingehenden Beschreibung. Statt der negativen Kohlenscheibe wendet *Marcus* einen Kohlencylinder an, dessen Achse und Lager mit einem Schraubengewinde versehen werden kann, um dem Cylinder gleichzeitig mit der

Drehung um seine Achse eine fortschreitende Bewegung in horizontaler Richtung zu geben, was da von Vortheil ist, wo die Lampe für eine sehr lange Brenndauer bestimmt ist. Der positive Kohlenstab wird von zwei Rollen geführt und unter dem Drucke einer mit einem leichten Gewichte beschwerten Stange beständig nach unten geschoben und excentrisch gegen die Oberfläche des Kohlencylinders angedrückt.

102. Die Glühlicht-Lampe von Werdermann stimmt im Princip mit der von *Reynier* überein; sie unterscheidet sich aber von dieser wesentlich dadurch, dass die etwa 4 cm breite, 2 cm dicke kreisrunde negative Kohlenscheibe A (Fig. 177) an die höchste Stelle der Lampe gesetzt ist und das dünne positive Kohlenstäbchen B von 3 mm Durchmesser in verticaler Richtung von unten her gegen die Kohlenscheibe angedrückt wird. Die Scheibe A ist von einem Kupferringe eingefasst, der durch einen Arm E an dem seitlichen, von der Lampe gut isolirten Träger D gehalten wird. Unterhalb der Kohlenscheibe A befindet sich der Halter und Führer C für das positive Kohlenstäbchen; er hat einen beweglichen Backen, der durch die Regulirfeder beständig gegen das Kohlenstäbchen gedrückt wird, um einen guten Contact herzustellen. Das Kohlenstäbchen steckt mit seinem unteren Ende in einer Röhre von Kupfer, mit welcher es unter Einwirkung des Gewichtes P mit Hülfe zweier über feste Röllchen laufender Schnüre oder Kettchen in die Höhe geschoben und mit seiner oberen Spitze unter mässigem Drucke gegen die Kohlenscheibe angepresst wird.



Fig. 177.



Glühlicht-Lampe von Werdermann.

Neuerdings hat *Werdermann* die Lampe durch einen Mechanismus verbessert, durch den die beiden Elektroden constant in ihrer günstigsten gegenseitigen Lage erhalten werden, so gross auch die Ungleichmässigkeit der Verbrennung der verticalen Kohle je nach der Entwicklung des Lichtes ist; ferner wurde dafür gesorgt, dass die Kohlenstäbe der Lampe automatisch aus dem Stromkreise ausgeschaltet werden, sobald sie ganz oder fast ganz aufgebrannt sind, ohne dass ein störender Einfluss auf die übrigen Lampen desselben Stromkreises ausgeübt wird.[1])

Fig. 178.



Die Joël'sche Lampe.

Insbesondere gelang es aber *Joël*, das System *Werdermann* zu vervollkommnen und eine Lampe zu construiren, welche sich durch ihren einfachen Mechanismus vortheilhaft auszeichnet. Die Construction der

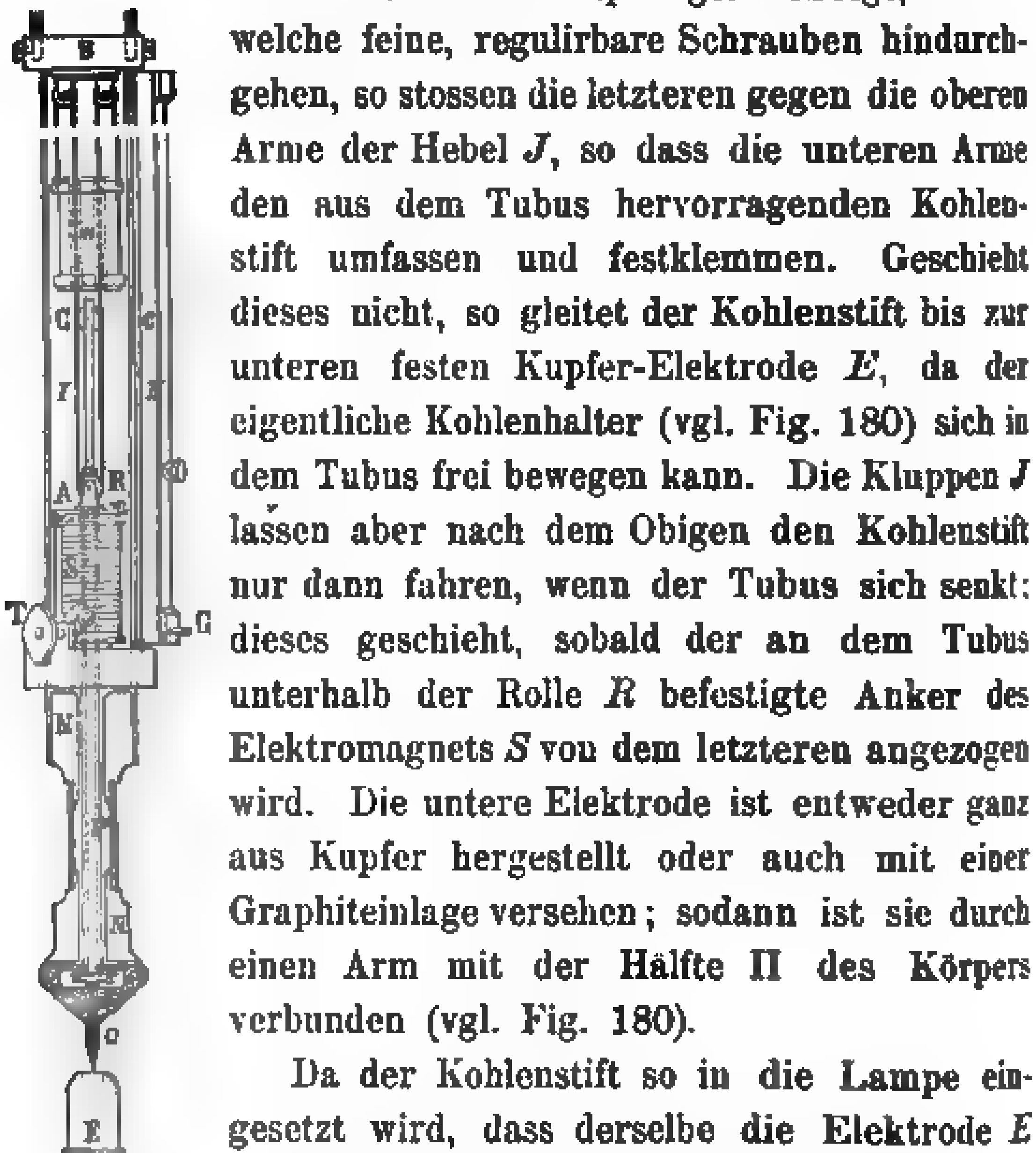
103. Joël'schen Hängelampe, welche durch Fig. 178 dargestellt wird, erhellt aus der schematischen Zeichnung, Fig. 179; danach bildet den Körper der Lampe eine kupferne Hülle, welche aus zwei elektrisch von einander isolirten Hälften zusammengesetzt ist, die jedoch mittelst des an der Hälfte I befindlichen Drückers T und des an der Hälfte II befindlichen Vorsprunges G leitend verbunden werden können; am Ende der ersten Hälfte sind ferner zwei Kluppen J als zweiarmige Hebel befestigt. Der untere Theil der Röhre $N\,N$ umgibt lose den Tubus P, welcher bei R an einer

---

[1]) Z. f. a. E. 1880, p. 409.

Rolle befestigt ist. Mittelst dieser Rolle *R* und der mit ihr in fester Verbindung stehenden Rolle *C*, sowie der beiden Rollen bei *B* und einer continuirlichen Schnur sucht das Gewicht *W* den Tubus *B* zu heben; da dieser nun mit zwei seitlichen Vorsprüngen endigt, durch welche feine, regulirbare Schrauben hindurchgehen, so stossen die letzteren gegen die oberen Arme der Hebel *J*, so dass die unteren Arme den aus dem Tubus hervorragenden Kohlenstift umfassen und festklemmen. Geschieht dieses nicht, so gleitet der Kohlenstift bis zur unteren festen Kupfer-Elektrode *E*, da der eigentliche Kohlenhalter (vgl. Fig. 180) sich in dem Tubus frei bewegen kann. Die Kluppen *J* lassen aber nach dem Obigen den Kohlenstift nur dann fahren, wenn der Tubus sich senkt: dieses geschieht, sobald der an dem Tubus unterhalb der Rolle *R* befestigte Anker des Elektromagnets *S* von dem letzteren angezogen wird. Die untere Elektrode ist entweder ganz aus Kupfer hergestellt oder auch mit einer Graphiteinlage versehen; sodann ist sie durch einen Arm mit der Hälfte II des Körpers verbunden (vgl. Fig. 180).

Fig. 179.



Construction der Joël'schen Lampe.

Da der Kohlenstift so in die Lampe eingesetzt wird, dass derselbe die Elektrode *E* berührt, so bilden die Hälfte I, die Kluppen *J*, der Kohlenstift *e*, die Elektrode *E*, der erwähnte Arm und schliesslich die Hälfte II den geschlossenen Stromweg. Durchfliesst daher in gedachter Weise der Strom die Lampe, so entfaltet sich sofort ein schönes Licht; denn die Spitze des Kohlenstiftes wird zur Weissgluth erhitzt, während von dem oberen Theile des Stiftes zur Kupfer-Elektrode hin ein flammenähnlicher Schein sich er-

streckt. Dabei nutzt der Stift ab — etwa $2^1/_2$ bis 3 Zoll per Stunde für Lichter von 100 Kerzen Lichtstärke. Es nimmt dadurch die Stromstärke des den erwähnten Weg durchfliessenden Hauptstromes ab, und es wächst diejenige eines zweiten Stromes, welcher einen Nebenschluss passirt, in den der Elektromagnet *S* eingeschaltet ist. Dieser ist aber derart mit feinem Draht umwunden, dass er, sobald der Lichtbogen zu gross wird, hinreichend gesättigt ist, den Anker *A* anzuziehen, wodurch nach dem Obigen der Kohlenstift auf die Elektrode *E* zu liegen kommt. Da nunmehr wiederum der Nebenstrom geschwächt wird, der Elektromagnet also den Anker fahren lässt, und das Gewicht *W* den Tubus hebt, so umschliessen die Kluppen den Kohlenstift u. s. w.

Fig. 180.

P A H E Q

Construction der Joël'schen Lampe.

Ist der Stift beinahe verbrannt, so gleitet aus dem Tubus ein Theil des Kohlenhalters hervor, welcher den an der Hälfte I befestigten Hebel *L* so bewegt, dass derselbe die in dem Arme *A* drehbare Schraube berührt und somit die Verbindung der beiden Röhrenhälften bezw. kurzen Schluss der Lampe bewirkt. Letzterer kann auch, wie erwähnt, nach Belieben durch den Drücker *T* bewerkstelligt werden; so geschieht, wenn neue Kohlen in die Lampe gefügt werden.

Professor *Adams* constatirte in der Society of Arts, dass mit der *Joël*'schen Lampe eine Leuchtkraft von 715 Kerzen per Pferdekraft erreicht werden kann. Wohl soll diese Beleuchtung theurer als Bogenlicht zu stehen kommen, dafür aber eine vollkommene Stetigkeit des Lichtes geben, die in vielen Fällen unerlässlich ist. Kein Wunder also, dass die Lampe bereits mehrfache Anwendung gefunden hat und zur Zufriedenheit der Besitzer functionirt. Die

Brenndauer beträgt je nach der Länge des Stiftes 7—14 Stunden.[1])

B. Glühlichter mit unvollkommener Leitungsfähigkeit oder mit grossem Widerstande.

104. Das Glühen der Körper. Anderer Art sind diejenigen Glühlichter, welche auf der Erscheinung beruhen, dass ein elektrischer Strom bei seinem Durchgange durch einen schlechten Leiter diesen erwärmt und ihn unter Umständen bis zu dem Grade erhitzt, dass er weissglühend wird. Die Temperatur-Erhöhung, welche irgend ein bestimmter Theil, z. B. ein begrenztes Stück des Leitungsdrahtes, in der Zeiteinheit erfährt, ist nach *Joule* proportional sowohl zu dem Quadrate der Stromstärke als auch zu der Grösse des Widerstandes, welche dieser Leiter dem Strome entgegensetzt. Während daher bei den gewöhnlichen Stromstärken sich die gut leitenden Kupferdrähte, wenn sie nicht sehr dünn sind, kaum merkbar erwärmen, erhitzen sich kleinere Stücke von schlechter leitenden dünnen Eisen- oder Platindrähten leicht bis zum Rothglühen; bei hinreichender Stromstärke werden sie weissglühend und die Temperatur-Erhöhung steigert sich bis zum Schmelzen. Bei den verschiedenen Wärmegraden sendet nun der erhitzte Körper gewisse Farbenstrahlen aus.

Bei 250° C. nennt man einen Körper schon heiss.
„ 525° „ sendet er reichlich Wärmestrahlen aus und ist im Dunkeln rothglühend.
„ 700° „ sendet er ausserdem noch aus dunkelrothe Strahlen,
„ 800° „ „ „ „ „ „ dunkelkirschrothe „

[1]) Vgl. Scientific American 1879, Bd. 41, p. 274 und 794. Die Abänderungen der Lampen von *Reynier* und *Werdermann*, sowie auch Z. f. a. E. 1879, p. 336; Z. f. a. E., Bd. 2, p. 104, die Lampe von *Hopkins* und *Higgins*; Z. f. a. E., Bd. 3, p. 123, die Lampe von *Brougham*: Génie civil 1879, p. 104, die Lampe von *Ducretet*; Scientific American 1879, Bd. 41, p. 166, die Lampe von *Cromé*; La lumière electrique 1881, p. 10 u. s. w., die Lampe von *Napoli*; *Dingler's* Pol. J. 236, p. 251, die Lampe von *Kuhlo*.

Bei 900°	C.	sendet	er	ausserdem	noch	aus	kirschrothe	Strahlen,
„ 1000°	„	„	„	„	„	„	hellrothe	„
„ 1100°	„	„	„	„	„	„	dunkelorange	„
„ 1200°	„	„	„	„	„	„	hellorange	„
„ 1300°	„	„	„	„	„	„	gelbe	„
„ 1500°	„	„	„	„	„	„	hellblaue	„
„ 1700°	„	„	„	„	„	„	dunkelblaue	„
„ 2000°	„	„	„	„	„	„	violette	„

Die Mischung aller dieser gleichzeitig ausgestrahlten Farben gibt bekanntlich weisses Licht, so dass man sagen kann, dass jeder Körper bei einer Temperatur von 2000° C. und mehr alle im Sonnenlichte enthaltenen Strahlen aussendet.

Die Schmelzpuncte der meisten Metalle liegen aber unter oder sehr wenig über dieser Grenze und nur Platin und Iridium schmelzen bei 2000° bis 2500° C.; Kohle ist bei unseren irdischen Temperaturen überhaupt nicht schmelzbar. Nach *Tyndall* strahlen die rothglühenden Metalle bedeutend mehr Wärme als Licht aus; durchschnittlich betragen die Lichtstrahlen nur 5 %, die Wärmestrahlen 95 % der gesammten Ausstrahlung. Je höher jedoch die Temperatur steigt, desto grösser ist verhältnissmässig die Lichtausstrahlung, woraus folgt, dass man das Glühlicht nur bei sehr hohen Temperaturen von sehr schwer schmelzbaren Stoffen einigermaassen vortheilhaft erzeugen kann, und dass der Kohle unbedingt vor dem Platin der Vorzug gebührt. Dazu kommt, dass die Kohle bei gleicher Temperatur ein viel grösseres Strahlungsvermögen besitzt als Platin, und dass die Wärmecapacität des Platins bedeutend grösser ist als die der Kohle, d. h. dass eine weit grössere Menge Wärme nöthig ist, um das Platin auf eine gegebene Temperatur zu bringen, als dieses bei der Kohle der Fall ist; ausserdem noch, dass die Kohle ein schlechterer Leiter ist als das Platin und man daher im Vergleich zum Platin dickere Kohlenstäbchen nehmen darf, ohne dadurch die Temperatur zu erniedrigen; endlich ist die Kohle unschmelzbar und kann auf die höchste Weissgluth gebracht werden, ohne dass

Gefahr vorhanden ist, dass die Leitung durch Abschmelzen unterbrochen werde.

Demnach bleibt die Wahl der Materialien zur praktischen Verwerthung nur auf Drähte oder Streifen von Platin oder auf Legirungen von Platin und Iridium sowie auf dünne Stäbchen oder Blätter von Kohle beschränkt.

105. Die Glühlicht-Lampen von Lontin, King und Lodyguine, Konn und von Bouliguine.

Die Glühlicht-Lampe von Lontin ist im Grunde von der bereits im Jahre 1852 von *de Changy* in Brüssel construirten und auf S. 397 beschriebenen Einrichtung nicht verschieden. Der Apparat besteht aus einer Spirale von 1 mm dickem Platindrahte, welche zwischen zwei dünnen Kupferstäbchen eingespannt ist. Es ist nicht gleichgültig, wie die Spirale gewunden wird, da die Intensität des Glühens erst dann ihr Maximum erreicht, wenn die einzelnen Windungen sich beinahe berühren. Bei einer zu grossen Stromstärke würde der Platindraht schmelzen, und dieses wird durch eine besondere Regulirvorrichtung derart verhütet, dass man es in der Gewalt hat, dem Strome einen Nebenweg um die Spirale anzuweisen, wenn seine Intensität einen bestimmten Grad erreicht hat, dessen Ueberschreiten für den weissglühenden Draht gefährlich wird.

Der Regulator besteht aus einem vertical stehenden einschenkeligen Elektromagnet, dessen Anker angezogen wird, sobald die genannte Grenze erreicht ist. Letzterer wird durch eine Abreissfeder von dem Magnetpol entfernt gehalten, so lange der Strom jene Grenze noch nicht erreicht hat, und es geht dann der volle Strom durch die Platinspirale und den Elektromagnet. Wird jedoch die Stromstärke zu gross, so zieht der Magnetpol den Anker an, und es kommt durch die metallische Berührung zwischen Anker und Magnetpol der Schluss einer Zweigleitung zu Stande, durch welche nur noch ein Theil des Stromes den frühern Weg durch den Platindraht beibehält, während der grössere Theil des Stromes den Weg durch den metallischen Kern des Elektromagnets nimmt und die Drahtumwindungen des letzteren umgeht. Die Temperatur des Platindrahtes nimmt sofort ab und das Abschmelzen wird verhütet; der Elektromagnet verliert seine Anziehungskraft und die Feder zieht den Anker wieder zurück. Eben hierdurch aber hört der Zweigstrom auf, da seine Leitung zwischen Anker und Magnetkern unterbrochen ist, und der Strom geht nun wieder durch die Platinspirale und den Elektromagnet. Dieses Spiel wiederholt sich unter beständigem Vibriren des federnden Ankers, wenn die Abreissfeder mit der Stromstärke oder der anziehenden Kraft des Elektromagnets im Gleichgewichte ist.

Lontin hat diesen Regulator angewandt, um zehn einfache, kurze Platinspiralen, deren Draht 1 mm dick und 2 cm lang war, auf der Rampe eines Theaters weissglühend zu erhalten und vor dem Schmelzen zu schützen. Das Hinzufügen einer elften Spirale war an den übrigen gar nicht zu bemerken, so dass nicht zu zweifeln ist, dass eine weit grössere Zahl solcher Glühlichter mit dem Regulator in Betrieb gehalten werden könnten. Die zehn Lichter verbrauchten nur $^1/_6$ der gesammten von der Maschine gelieferten Kraft. Es ist leicht einzusehen, dass diese mit der Construction von *de Changy* im Wesentlichen übereinstimmende Einrichtung von *Lontin* für eine öffentliche Beleuchtung oder auch nur für die Beleuchtung grösserer Räume ohne alle praktische Bedeutung ist.

Die Lampen von King und Lodyguine erreichen das Ziel der Beleuchtung durch Weissglühen schon in höherem Grade, indem sie den Platindraht durch sehr dünne Stäbchen von Kohle ersetzen. In seinem englischen Patente vom 4. November 1845 sprach sich *King* über seine Lampe folgender Maassen aus:

„Der Erfindung liegt die Anwendung metallischer Leiter oder Kohlenstäbe zu Grunde, welche durch den Durchgang eines elektrischen Stromes weissglühend werden. Das beste Metall hierzu ist Platin, die beste Kohle ist die Retortenkohle.

Wenn man Kohle anwendet, empfiehlt es sich, dieselbe wegen ihrer Verwandtschaft zum Sauerstoff der Luft, die namentlich bei hoher Temperatur bedeutend ist, von der Luft und der Feuchtigkeit abzuschliessen."

Hiernach bestand die Lampe von *King* aus einem nach oben etwas erweiterten Glasrohre, in dessen oberem Theile ein dünnes Stäbchen aus Retortenkohle zwischen zwei guten Stromleitern befestigt war. Der eine dieser Leiter ging luftdicht aus dem Glasrohre nach aussen; der untere Leiter stand mit einem Quecksilberbade in Verbindung. In dem Glasrohre wurde die Luftleere hergestellt, am besten dadurch, dass das Rohr den höchsten Theil der *Toricelli*'schen Leere eines gewöhnlichen Barometers bildete. Wenn dann ein kräftiger galvanischer Strom durch die beiden Leiter und das Kohlenstäbchen geleitet wurde, gelangte letzteres zum Weissglühen und strahlte ein sehr intensives Licht aus, welches bei entsprechender Einrichtung der Lampe sowohl für submarine Beleuchtung bei Taucherarbeiten, als auch zur Beleuchtung von solchen Räumlichkeiten verwendet werden konnte, wo die Anwendung offener Lichter mit Gefahr verbunden war.

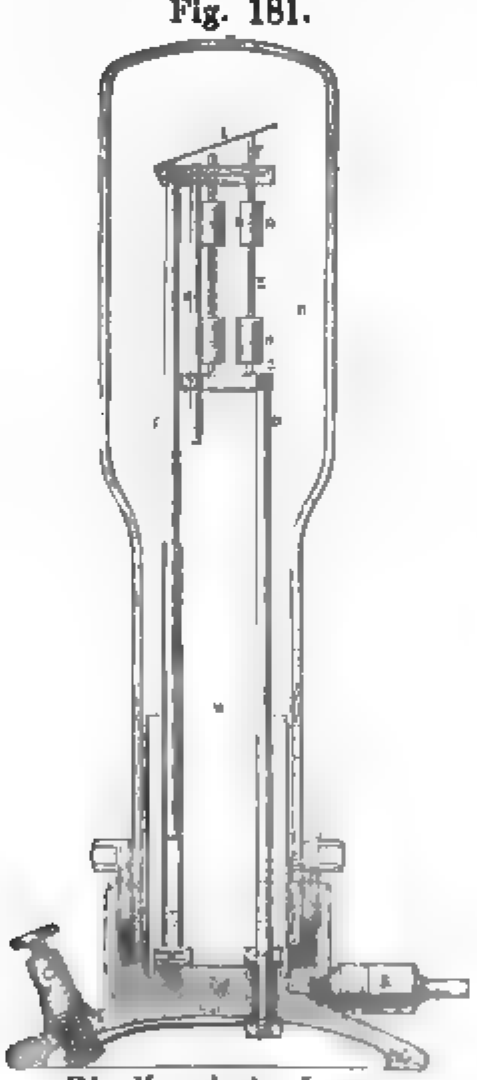
Nach manchen anderen zwischenzeitlichen Versuchen ähnlicher Art nahm im Jahre 1873 der russische Physiker *Lodyguine* die Idee der Beleuchtung mittelst des elektrischen Glühlichtes von Neuem auf, und die von ihm construirte Lampe erhielt sogar auf Grund des von dem Director des Kaiserlich Russischen Observatoriums darüber erstatteten

Berichtes von der Petersburger Akademie der Wissenschaften im Jahre 1874 einen grossen Preis. Die von *Lodyguine* verwendeten Kohlenstäbe waren an der Stelle, wo sie weissglühend werden sollten, stark verjüngt; in jeder Lampe, deren Inneres ebenfalls luftleer gemacht wurde, befanden sich zwei solcher Stäbchen, die nach aussen mit einem Commutator in Verbindung standen; vermittelst dieses letztern konnte das eine Stäbchen in den Stromkreis eingeschaltet werden, wenn das andere abgenutzt war. Die Construction aller Details der Lampe war jedoch eine sehr mangelhafte.

Die Lampen von Konn und von Bouliguine. Das nächste Jahr (1875) brachte ein Patent von *Konn*, ebenfalls aus St. Petersburg, über eine Glühlicht-Lampe, die bessere Resultate zu geben versprach. Dieselbe ist nach einer Construction von *Duboscq* (Paris) folgendermaassen construirt. (Fig. 181.)

Auf einem kupfernen Sockel *A* sind zwei Klemmschrauben *X* zur Befestigung der von der elektrischen Kraftmaschine kommenden Leitungsdrähte, zwei kupferne Röhren *C D* und ein kleines Ventil *K* angebracht, welches sich nur nach aussen öffnet und mit dem Stiefel einer Luftpumpe in Verbindung gebracht werden kann.

Fig. 181.



Die Konn'sche Lampe.

Durch eine den unteren Theil des Glasrohres umgebende Schraube *L* wird unter Beihülfe eines Dichtungsringes von Gummi die oben ausgebauchte Glasglocke auf dem Sockel *A* festgehalten.

Die eine der verticalen Röhren *D* ist vom Sockel isolirt und steht mit der ebenfalls isolirten Klemmschraube *X* in leitender Verbindung. Die andere Röhre *C* besteht aus zwei Theilen: 1) einem festen Rohre, welches direct in den Sockel eingeschraubt ist, und 2) aus einem Kupferstabe, der auf einen Theil seiner Länge aufgeschlitzt ist und daher etwas federt; er lässt sich zwar in dem Rohre *C* auf- und abschieben, aber er bleibt in jeder Stellung stehen, wenn kein Druck auf ihn ausgeübt wird.

Die Stäbe *E* aus Retortenkohle, fünf an der Zahl, sind zwischen zwei kleinen Scheiben angebracht, welche die Enden der Röhren *C* und *D* bilden. Jeder Kohlenstab steckt in zwei kleinen Kohlenklötzchen *O O*, die ihrerseits wieder auf Kupferstäbchen *F G* sitzen, von

denen die unteren *G* alle gleich lang sind, die oberen *F* aber ungleiche Länge haben. Auf dem Rohre *C* sitzt dann noch eine Feder *I*, welche stets nur auf einem der Kupferstäbchen *F* aufruht, die von den Kohlenstäbchen nach oben ausgehen.

Schaltet man die Lampe in den Kreislauf eines Stromes ein, so geht derselbe von der Klemme *N* durch *D O*, den Kohlenstab *E* und über *F I C* zu dem Sockel *A* der Lampe und der zweiten, mit letzterem leitend verbundenen Klemmschraube, welche in der Figur nicht sichtbar ist. Die Glasglocke wird vorher vermittelst einer Luftpumpe luftleer gemacht. Das Kohlenstäbchen *E* wird zuerst roth-, dann weissglühend; anfangs ist das Licht weiss, ruhig und constant, aber nach und nach nimmt der Querschnitt der Kohle ab, das Stäbchen bricht und das Licht erlischt. Sofort fällt aber die Feder *I* auf ein anderes Stäbchen und das Licht ist fast augenblicklich wieder hergestellt.

Wenn auf diese Weise alle Kohlenstäbe verbraucht sind, bleibt die Feder auf dem dicken Kupferstabe *H* stehen und der Strom wird nicht mehr unterbrochen; werden daher mehrere Lampen gleichzeitig von derselben elektrischen Maschine gespeist und es geht eine von ihnen aus, so brennen die übrigen ruhig fort.

Ein im unteren Theile der Lampe angebrachtes Rohr *M* von Kupferblech dient zur Aufnahme der etwa beim Durchbrennen der Kohlenstäbchen herabfallenden glühenden Kohlenpartikelchen.

Drei dieser Lampen sind seit mehreren Jahren bei dem Petersburger Kaufmanne *Florent* in Thätigkeit und werden von einer Alliance-Maschine gespeist. Jeder Kohlenstab hat eine Dauer von etwa zwei Stunden, mit Ausnahme des ersten Stabes, der fast augenblicklich verbraucht wird. Sie verbreiten ein sehr angenehmes Licht, aber die Kosten sind bedeutend höher als die des Gaslichtes. *Florent* bezeichnet die grosse Reinlichkeit als Hauptvorzug dieser elektrischen Beleuchtung; seine Magazine enthalten sehr viel weisse Wäsche, welche das Gaslicht sehr rasch gelb färbt, während das elektrische Glühlicht der Kohlenstäbchen nicht den geringsten nachtheiligen Einfluss darauf ausübt. Die Ersparnisse an Bleichkosten gleichen die erheblichen Mehrkosten des Betriebes reichlich aus. Nach einer ungefähren Schätzung ist die Lichtstärke einer *Konn*'schen Lampe etwa 20 Carcel-Brenner. Eine nicht geringe Schwierigkeit liegt in der Herstellung der dünnen Kohlenstäbchen, so dass dieselben ungeachtet des werthlosen Materials an Ort und Stelle mehr als 5 fr. per Meter kosten.

Ein russischer Officier, *Bouliguine*, änderte die *Konn*'sche Lampe dahin ab, dass er die fünf Kohlenstäbchen durch ein einziges langes Stäbchen ersetzte, welches nach Art der Graphitstäbe in einem Bleistifte im Innern eines engen Kupferrohres steckte und durch einen unterhalb des Kohlenstäbchens angebrachten, mit Zugschnur und Gewichten versehenen Metallstift sofort in die Höhe geschoben wurde,

so oft das kurze, der Weissgluth ausgesetzte, aus dem Kupferröhrchen hervorragende Stück der Kohle abbrach. Bei diesem Vorrücken des Kohlenstäbchens schob sich der höchste Theil desselben in ein grösseres, conisch geformtes Kohlenklötzchen hinein und wurde durch einen von oben nach unten pressenden Kupferstift aufgehalten und mit den übrigen Theilen der Lampe leitend verbunden.

Fontaine fand bei wiederholten Versuchen, dass die Lampe von *Bouliguine* mit ihren einzelnen Cylindern einen zu complicirten Mechanismus darstellte, um andauernd regelmässig arbeiten zu können, und dass sie bei der geringsten Störung ihren Dienst versage. Es ergab sich aber auch zugleich, dass, wenn zufällig die Lampe einmal regelmässig brannte, eine geringere Stromstärke hinreichte, um dasselbe Licht zu erzeugen, als bei der Lampe von *Konn*. Mit einer *Gramme*'schen Maschine von 100 Carcel-Brennern lieferte die Lampe mit einem Kohlenstäbchen ein Licht von 80 Brennern, während dieselbe Maschine es bei einer *Konn*'schen Lampe niemals über 80 Brenner brachte.

106. Die Glühlicht-Lampe von Edison.[1] An den Namen *Thomas A. Edison* zu Menlo-Park (New Jersey, America) knüpfen sich einige beachtenswerthe Erfindungen von praktischem Werthe auf dem Gebiete der elektrischen Telegraphie, mehrere recht interessante Entdeckungen auf dem Gebiete der Akustik (Telephon, Mikrophon, Tasimeter, Phonograph), zahlreiche Patente über allerlei Erfindungen und eine unglaubliche Reclame auf dem Gebiete der elektrischen Beleuchtung.

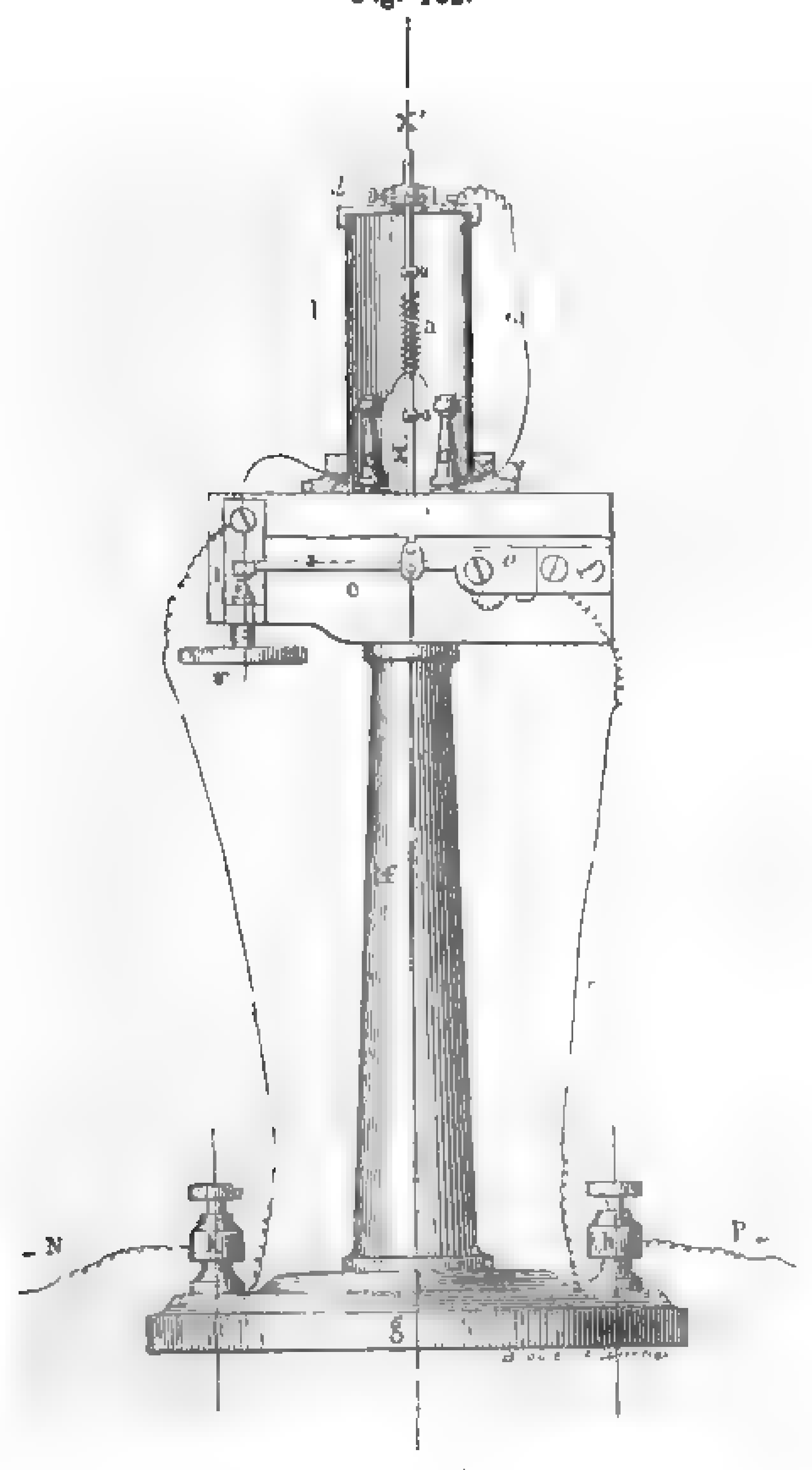
Die erste *Edison*'sche Glühlampe war im Wesentlichen nichts anderes, als die auf S. 397 beschriebene Platinlampe von *de Changy* und hatte, wie Fig. 182 zeigt, folgende Construction.

Auf einem Sockel *g f* ruht der Kasten *e*, der den Glascylinder *b* trägt, in dessen Innern die doppelt gewundene Spirale *a* aus Platindraht angebracht ist. In der Höhlung der Spirale befindet sich ein Metallstäbchen *x x'*, welches den Platindraht nicht berührt und mit seinem oberen Ende durch die Schraube *d* festgeklemmt, dagegen mit seinem unteren Ende in dem Kasten *e* an dem bei *o* drehbaren isolirten Messinghebel *s* leitend befestigt ist. Wenn kein Strom durch die Lampe geht und die Stange *x x'* ihre normale Länge hat, berührt das linke Ende des Hebels *s* die darunter befindliche Contactschraube nicht; wenn sich aber durch die Erwärmung der glühenden Platinspirale diese Stange ausdehnt, wird der Hebel *s* niedergedrückt und

[1] Vgl. interessante Details Z. f. a. E. 1880, p. 33, 83 und 431.

ein Ende mit der Schraube in Verbindung gebracht. Die Enden der Platinspirale sind in den Messingsäulchen $C\,C$ befestigt, während die

Fig. 182.



Edison's Glühlampe mit Platinspirale.

rechtsseitige Säule durch den Draht m mit dem Messingdeckel des Glascylinders und dadurch mit dem Metallstabe $x\,x'$, das linksseitige

Säulchen durch einen Draht mit der Klemme *k* und dem —Pol der Lichtmaschine in Verbindung steht. Ausserdem aber steht noch die unter dem Hebel *s* liegende Contactschraube mit derselben Polklemme *k* dadurch in Verbindung, dass sie in demselben Metallstücke ihre Führung hat, in welchem der nach der —Polklemme *k* führende Draht befestigt ist.

Der elektrische Strom tritt aus der Lichtmaschine bei + *P* in die Lampe ein, geht über *h* und *p* durch den Hebel *e* und den Metallstab *x x'*, so wie durch den Draht *m* in die Platinspirale *a* und weiter zur linken Klemme *C* und durch den linken Draht zur Klemme *k* und zum —Pol der Lichtmaschine. Der Strom bringt die Platinspirale sofort zum Weissglühen, wobei sich die Metallstange *x x'* mehr und mehr ausdehnt. Erreicht die Temperatur des Platindrahtes die Höhe, bei welcher er in Gefahr kommt, zu schmelzen, so tritt der Endpunct des Hebels *s* mit der darunter befindlichen Contactschraube in Berührung und bildet dadurch für den Strom einen kurzen Schluss. Letzterer umgeht nun fast ganz den Platindraht und geht zum grössten Theile durch den Hebel *s* direct zur negativen Polklemme *k*. Die Temperatur der Spirale nimmt daher ab, der Stab *x x'* zieht sich zusammen und trennt den Hebel wieder von der Contactschraube, das Glühen der Spirale nimmt wieder zu und so wiederholt sich das Spiel so lange, als der Spiraldraht unverändert bleibt.

Da der Platindraht unter der Einwirkung der atmosphärischen Luft und der hohen Temperatur oxydiren und sehr bald sein Widerstand, und damit bei derselben Stromstärke auch die Licht-Intensität sich ändern würde, so pumpt *Edison* den Glascylinder luftleer, was vor ihm bereits *King* (1845) und *Konn* (1875) ebenfalls gethan hatten. Aber auch diese Maassregel schützt den Platindraht nicht vor der allmählichen Zerstörung. Abgesehen davon, dass es kaum möglich ist, bei der beständigen Abwechslung von sehr hoher und niedriger Temperatur im Innern des Glascylinders diesen allseitig luftdicht zu erhalten, verflüchtigt sich auch der weissglühende Platindraht nach und nach und wird immer dünner, bis er denn schliesslich trotz der regulirenden Thätigkeit des Hebels doch abschmilzt.

Als diese Lampe als unpraktisch bei Seite gesetzt war, unternahm *Edison* eine eingehende Untersuchung über die Ursachen der geringen Haltbarkeit der Platinspiralen und fand, dass der gewöhnliche Platindraht in seinen Poren Luft enthalte, welche bei der Erhitzung entweicht und dadurch dem glühenden weichen Drahte mikroskopische Risse beibringt und das metallische Gefüge auflockert. Wenn man daher dem Platindrahte vor seiner starken Erhitzung durch langsames Glühen im luftleeren Raume die Luft entzieht, so soll das Metall weit härter und dadurch befähigt werden, einer sehr hohen Weissgluth zu widerstehen. Aber auch diese Wahrnehmung hat die Glühlicht-Lampe

Edison's um keinen Schritt weiter gebracht; sie ruht heute unter vielen seiner anderen unbrauchbaren Einrichtungen und wird wohl nie wieder auferstehen.

Edison machte nunmehr eine Entdeckung, die vor Jahren von dem englischen Physiker *Joule* gemacht worden ist und die sich gegenwärtig in jedem Lehrbuche der Physik findet, dass die von einem gegebenen Strome in einem Leiter erzeugte Wärme von der Grösse des Widerstandes dieses Leiters abhängig ist. Es wurden daher die Spiralen von Platin, von Iridium und seinen Legirungen bei Seite gesetzt und statt derselben die alten Versuche von *King*, *Lodyguine*, *Konn*, *Bouliguine* u. A. mit dünnen Stäbchen und Blättchen von Kohle wieder aufgenommen. Nun erst fand *Edison* den richtigen Weg, auf welchem er schliesslich zu einer wirklich praktischen, d. h. brauchbaren, dauerhaften und noch dazu billigen elektrischen Glühlampe gekommen ist. Mit einem Locheisen wurde anfänglich aus Bristol-(Carton-) Papier ein Streifen in der Form eines Hufeisens von 5 cm Länge und 3 mm Breite ausgestampft. Eine gewisse Anzahl solcher Streifen wurde zwischen Eisenplatten in einem Ofen verkohlt, bis alle gasigen Bestandttheile daraus ausgetrieben waren, und darauf bei einer höheren Temperatur in einem besonderen Muffelofen nochmals ausgeglüht. Hierauf wurden die kleinen, sehr zerbrechlichen, nunmehr nur noch ein Kohlengewebe darstellenden Hufeisenblättchen sorgfältig losgelöst und an Platindrähten in einem kleinen Glasballon befestigt; schliesslich wurde letzterer luftleer gemacht.

Da jedoch *Edison* zu Beginn dieser Versuche das Vacuum und den Verschluss der Lampe ohne besondere Vorsichtsmaassregeln herstellte und dem Contacte zwischen der Kohle und den Klammern keine besondere Aufmerksamkeit schenkte, so konnte natürlich die *Edison*'sche dünne Papierkohle sich nicht dauerhafter erweisen, als die russischen dickeren Kohlenstäbchen, die ebenfalls im luftleeren Raume weissglühend wurden, jedoch in kurzer Zeit unter der gewaltigen

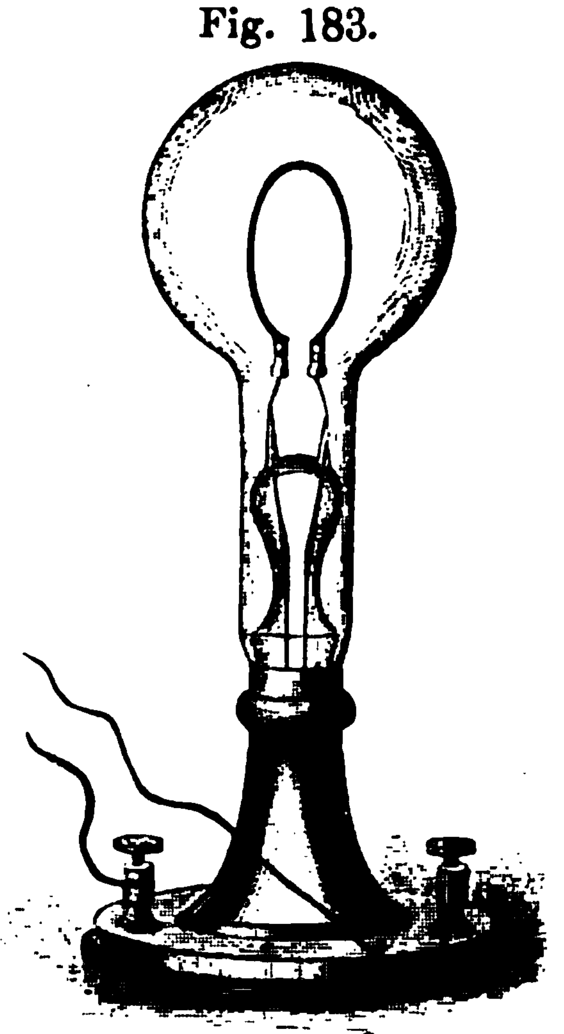
Einwirkung der Hitze und des elektrischen Stromes sich verflüchtigten, nach und nach zerstäubten und durch die feinen an die Glaswand der Umhüllung sich ansetzenden Kohlenpartikelchen das Glas trübten. So kamen denn auch schon den ersten pomphaften Ankündigungen der amerikanischen Journale über die endlich geglückte Construction einer dauerhaften Kohlenlampe die Mittheilungen nachgehinkt, dass *Edison* grosse Schwierigkeiten finde, seine Lampen luftdicht zu halten, dass daher die Anfertigung derselben vorläufig eingestellt sei und weitere Versuche angestellt werden müssten. Diese Versuche waren endlich mit grossem Erfolge begleitet; *Edison* liess nämlich die Erfahrungen *Swans* bezüglich der Herstellung eines guten Vacuums (§. 107) und Contactes sowie die Ergebnisse *Maxim's* bezüglich der Herstellung einer dauerhaften Faser nicht unbeachtet und erreichte, Dank seinem erfinderischen Talente, das Ziel, eine gute Lampe herzustellen.

Statt der früher verwandten Kohle einer Papiermasse, benutzt *Edison* gegenwärtig nur noch die Faser des Bambusrohres, welche durch einen besonderen Process verkohlt wird. Die Art und Weise der Umwandlung des rohen Bambusrohres in eine für elektrische Lampen geeignete hufeisenförmige Kohle konnte man in ihren verschiedenen Stadien an einigen Tableaux in der Ausstellung zu Paris studiren. Die Kohle ist äusserst dünn, dass sie fast einem Pferdehaar gleicht; durch eine sehr künstliche Vorrichtung sind die den Strom zuführenden Platindrähte nicht mehr der Gefahr ausgesetzt, zerstört zu werden, und die Befestigung derselben in den Ballons ist so eingerichtet, dass der durch den Einfluss der Wärme bewirkte Volumenwechsel die die Kohle umgebende Luftleere nicht mehr gefährdet. In ihrer jetzigen Form (Fig. 183) sollen die Lampen durchaus solid und dauerhaft sein.

Dieser Erfolg rührt offenbar daher, dass in erster Linie

das Vacuum der Lampen ein vollkommenes und die Befestigung der Kohlenfaser eine dauerhafte ist. Denn auch der kleinste Rückstand von Luft wurde nach der neueren Erklärung, die über das Anschwärzen der Glaskugeln u. s. w. gegeben wird, hinreichen, die Kohlen mit der Zeit zu vernichten. Diese sind nämlich selten von derselben Dicke an den einzelnen Stellen; dort nun, wo die Kohle dünner ist als anderwärts, besteht eine höhere Temperatur, als an den Stellen, wo die Kohle dicker ist. Es wird sich demnach der Sauerstoff mit der Kohle an den Stellen zu Kohlensäure verbinden, wo eine geringere Temperatur herrscht, die gebildete Kohlensäure aber an anderen Puncten der Kohle, welche eine sehr hohe Temperatur besitzen, wiederum in Sauerstoff und Kohlenstoff zerfallen, welch' letzterer das Anschwärzen der Kugel bewirkt. Sowie also von Beginn an nur etwas Sauerstoff in der Glaskugel zurückbleibt, wird dieser den vorhin geschilderten Process einleiten, der um so rascher ein Brechen der Kohlenfaser herbeiführt, je ungleicher dieselbe gearbeitet ist und je mehr Sauerstoff in der Lampe blieb. Hiernach erklärt es sich leicht, warum in der *Konn*'schen Lampe nicht nur der erste Kohlenstab, sondern auch die folgenden Stäbe allmählich verzehrten.

Fig. 183.



Edison's Lampe.

Die *Edison*'schen Lampen fanden zu Paris durch ihre einfache Construction, durch die angenehme, dem Auge wohlthuende Färbung und Unbeweglichkeit des Lichtes allgemeine Anerkennung bei Fachleuten und Laien; auch stellt sich der Kostenpunct dieser neuen Beleuchtungsart nicht ungünstiger

als beim Gebrauche des Gaslichtes. Dieses möge aus dem Folgenden erhellen.

Bezeichnet man die Ebene, in welcher die Kohlenfaser liegt, mit 0°, diejenigen jedoch, welche die vorhin angegebene Ebene in der Axe der Kohlenfaser schneiden, durch Angabe der Winkel, den sie mit der Faser-Ebene bilden, so beträgt nach *Morton*[1]) die Lichtstärke der *Edison*'schen Lampe bei Anwendung von 50 *Grove*'schen Elementen

in	der	Ebene	0°	6,7	Normalkerzen
"	"	"	10°	6,9	"
"	"	"	20°	8,4	"
"	"	"	30°	12,8	"
"	"	"	40°	14,3	"
"	"	"	50°	16,3	"
"	"	"	60°	17,7	"
"	"	"	70°	19,1	"
"	"	"	80°	19,8	"
"	"	"	90°	20,6	"

so dass das Mittel = 142,6 : 10 = 14,26 = 69 % des Maximums beträgt.

Auch wurde die Lampe bezüglich des Kraftbedarfes untersucht. Es ergab sich, dass eine Pferdekraft etwa 12 Lampen mit 10 Normalkerzen Helligkeit in Thätigkeit setzen könnte. Wird daher der Strom durch eine *Siemens*'sche dynamoelektrische Maschine erzeugt und gehen bei dieser selbst 40 % an Arbeit verloren, so wäre immerhin nur 1 2/3 Pferdekraft erforderlich, die durch eine sehr gute Dampfmaschine beim Verbrennen von 5 Pfund Kohle geliefert werden könnte. Bei der Gasbereitung würden diese 5 Pfund Kohle ausser den rückbleibenden Coaks u. s. w. 25 Cubikfuss Gas geben, welche in 5 Gasbrennern eine Helligkeit von 5.20 bis 5.22 d. h. 100 bis 110 Kerzen liefern. Somit erhellt, dass in der That die *Edison*'sche Beleuchtung der Gasbeleuchtung nicht unterlegen ist.

[1]) Vgl. Report of the Electric Light by Prof. *H. Morton*, Washington 1881, und *Wiedemann's* Ann., Beibl. 3, p. 288, sowie E. Z. I, p. 320.

107. Die Swan'sche Lampe. Wenn das vorhin geschilderte, keineswegs ungünstige Resultat erreicht worden ist, so scheint uns dieses hauptsächlich ein Verdienst *Swan's* zu sein, welcher die Ursache des raschen Abnutzens, des Brechens der Kohle sowie des Anschwärzens der Lampenkugel zuerst zu ergründen suchte und zu erklären vermochte. Zur Zeit räsonnirte *Swan* also:

„Wenn diese Hypothese (dass die Kohle sich verflüchtige) auf Thatsachen begründet wäre, würde jeder fernere Versuch, incandescente Kohlenlampen dauerhaft zu machen, eine Zeitverschwendung sein; und dauerhaft müssen sie sein, wenn sie irgend praktischen Werth haben sollen. Glücklicherweise nahm ich die Experimente nicht als entscheidend an, welche zu beweisen schienen, dass Kohle flüchtig sei und dass das Anschwärzen der Lampenkugeln mit dem sehr starken Erhitzen der Kohle stets verbunden sei. Ich wusste, dass die Bedingungen, unter welchen alle vorgängigen Experimente ohne Zweifel angestellt wurden, derartig waren, dass man bei keinem ein vollkommenes Vacuum in den Lampen voraussetzen konnte. Schraubenverbindungen wurden stets angewendet, die Mündung der Lampe zu schliessen, und die gewöhnliche Luftpumpe zum Evacuiren. Unter solchen Umständen war es sicher, dass ein beträchtlicher Rückstand von Luft darin bleiben würde, und dass ausserdem der Verschluss nicht dicht hielt. Denn man hatte weder an das Gas gedacht, welches in der Kohle enthalten ist und das sich, wenn dieselbe durch den Strom glühend wurde, entwickelte, noch hatte man genügende Sorgfalt darauf verwendet, den Widerstand der Verbindungsstellen der Kohle gering zu machen. Es war mir klar, dass man vor irgend einer endgültigen Entscheidung über die Frage der Verflüchtigung der Kohle, als der Ursache des Anschwärzens der Glaskugeln und des Schwindens des Kohlenstiftes, zunächst den Versuch machen müsste, die Kohle in einem möglichst guten Vacuum und in zweckmässige metallische Verbindungen gefasst der höchsten Weissgluth auszusetzen. In dieser Absicht sandte ich im October 1877 *Mr. Stearn* eine Anzahl Kohlen von karbonisirtem Carton mit dem Ansuchen, dieselben für mich durch einen Glasbläser in Glaskugeln montiren zu lassen und dann die Luft so gut wie möglich auszupumpen. *Mr. Stearn* war so gütig, dieses zu unternehmen, und führte es auch sehr geschickt aus. Um ein gutes Vacuum herzustellen, fand man es für nothwendig, die Kohle bis zu einem sehr hohen Grade durch den elektrischen Strom während des Auspumpens zu erhitzen, um das Gas, welches die Kohle in kaltem Zustande absorbirt, auszutreiben; denn so gut auch das Vacuum vor dem Erhitzen der Kohle war, so

wurde dasselbe doch, sobald der Strom die Kohle weissglühend machte, vernichtet durch das Austreiben des Gases, welches die Kohle in kaltem Zustande absorbirt hatte. Um einen guten Contact zwischen der Kohle und den Fassungen zu machen, werden die Enden der Kohlen verstärkt, und in einigen der früheren Experimente wurden die Kohlen galvanisirt und an die Platindrähte gelöthet. Ich will Sie jedoch nicht mit Einzelheiten ermüden, sondern nur kurz anführen, dass, als die beschriebenen Bedingungen vollkommen erfüllt waren, man nach vielen mühsamen Experimenten gefunden hat, dass, wenn das Vacuum in der Lampe gut ist und der Contact zwischen der Kohle und den Klammern, welche sie tragen, hinreichend ist, weder Anschwärzen der Kugeln noch ein Schwinden der Kohlen zu bemerken sei. So wurde ein schädlicher Irrthum beseitigt. Es blieb nur übrig, die Einzelheiten der Lampe zu vervollkommnen, das beste Material für die Kohlen zu finden und dasselbe auf die beste Weise in der Lampe zu befestigen."

Swan benutzt als Lichtquelle eine karbonisirte organische Substanz; die Kohle ist so hart und elastisch wie eine Uhrfeder aus Stahl, nimmt an Härte und Unverbrennlichkeit mit dem Gebrauche zu und setzt nach längerem Gebrauche der Verbrennung einen solchen Widerstand entgegen, dass sie selbst das Erhitzen in einer Blasrohrflamme für eine bedeutende Zeit erträgt. Sie wird nur in einem haarfeinen Faden (0,01 Zoll im Durchmesser und 0,02 Grain pro Zoll) verwendet, aus welchem eine Schlinge gebildet ist, deren Enden mit stromzuführenden Platindrähten verbunden sind. Die letzteren sind, so weit sie innerhalb des an die Glaskugel sich anschliessenden cylindrischen Theiles des luftleeren Gefässes verlaufen, bis an ihr Ende mit einer Glashülle bekleidet, welche wiederum mit der Gefässwand verschmolzen ist. Hierdurch soll verhindert werden, dass die Lampe leck wird, auch wenn die Platindrähte an der äusseren Eintrittsstelle in das Gefäss nicht mehr dicht schliessen. Die *Swan*'sche Lampe liefert ein der Stärke des Stromes entsprechendes Licht; bei einem Lichte von etwa 30 Kerzen soll sie mehrere Monate lang Dienste leisten.[1]

[1] E. Z. II, p. 150, Z. f. a. E. III, p. 19 und ff., sowie p. 70, 126

108. Maxim's Lampe (vgl. Fig. 183). Grosse Verdienste um die Vervollkommnung der Glühlicht-Lampen erwarb sich auch *Maxim*, da dieser zuerst zeigte, dass die rationelle Anfertigung der Kohlenfaser von grosser Wichtigkeit sei. Die von *Maxim* erdachte Methode war folgende. Es wird ein Stück Carton in der geeigneten Form, etwa in Gestalt einer *M*, zugeschnitten und ohne Luftzutritt durch Erhitzen verkohlt. Diese Faser wird durch Metallschrauben an ihren Enden im Innern einer dünnen Glasglocke aufrecht erhalten; zu den Schrauben führen Zuleitungsdrähte, welche fest in die Glocke eingekittet sind. Diese ist so eingerichtet, dass sie leicht luftleer gemacht und mit einem Kohlenwasserstoffe gefüllt werden kann, während der elektrische Strom durch die Kohlenfaser geht. Ist nun ein Theil der Kohle dünner als die übrigen, so wird dieser Theil dem Strome einen grösseren Widerstand entgegensetzen, sich daher bedeutender erhitzen und folglich den Kohlenwasserstoff zersetzen, dessen ausgeschiedener Kohlenstoff sich auf den schwächeren Theil der Faser in Form gewöhnlicher Gaskohle ablagert. Hat sich genug dieser Kohle auf der betreffenden Stelle angelegt, um ihre leitende Kraft zu erhöhen und ihre Temperatur zu erniedrigen, so hört daselbst die Ablagerung der Kohlen auf. Wird aber der Strom verstärkt,

Fig. 184.



Maxim's Lampe.

und 221 (über Anlagen mit S.-Lampen), sowie The Electriciam, Vol. VII, Nr. 14. Die verschiedenartigen Fassungen der *Swan*'schen Lampen zum Gebrauche von Bergwerken u. s. w.

so wird in entsprechender Weise eine andere schwache Stelle ausgebessert; die Stromstärke wird nur stufenweise vergrössert bis zur intensiven Weissglühhitze der Faser, die sich dann mit einem gleichförmigen Mantel aus Gaskohle umkleidet hat. Ist das Kohlenwasserstoffgas bei dem Zersetzungsprocess nicht vollständig verbraucht worden, so wird der Rest ausgetrieben, worauf die Glocke möglichst luftleer verschlossen wird.

Der geschilderte Process bietet zwei Vortheile; einmal wird die Faser mit einem Mantel einer Gaskohle bekleidet, welche mechanischen Einflüssen und der Einwirkung der Hitze ungewöhnlich grossen Widerstand leistet; sodann ist die Faser so gleichförmig, dass sie allenthalben gleiche Temperatur haben dürfte, so dass der im §. 106 erwähnte Zersetzungsprocess nur langsam erfolgen kann.

Die *Maxim*'sche Lampe hat seither gute Resultate geliefert; nach den Untersuchungen *Morton's* beträgt die Leuchtkraft einer Lampe, deren Glocke einen Durchmesser von ca. 7,60cm hat, 38, 90, bezw. 200 Kerzen, wenn die Stromstärke 2,202, 2,615 bezw. 3,168 Webers beträgt. Die Leuchtkraft nimmt demnach mit der Stärke des Stromes zu, darf aber nur bis zu einer bestimmten Grenze gesteigert werden, wenn die Lampe nicht erlöschen soll. Dieser Punkt wurde bei der erwähnten Lampe erreicht, als sie eine Lichtmenge von 650 Kerzen ausströmte; bei einer Lichtmenge von 200 Kerzen während mehrerer Stunden war indessen keine Beschädigung oder Abnutzung der Lampe zu constatiren.[1])

Das Verfahren *Maxim's*, eine gute und gleichförmige Kohle zu gewinnen, befolgen im Wesentlichen auch *Lane Fox* und *Sawyer*.

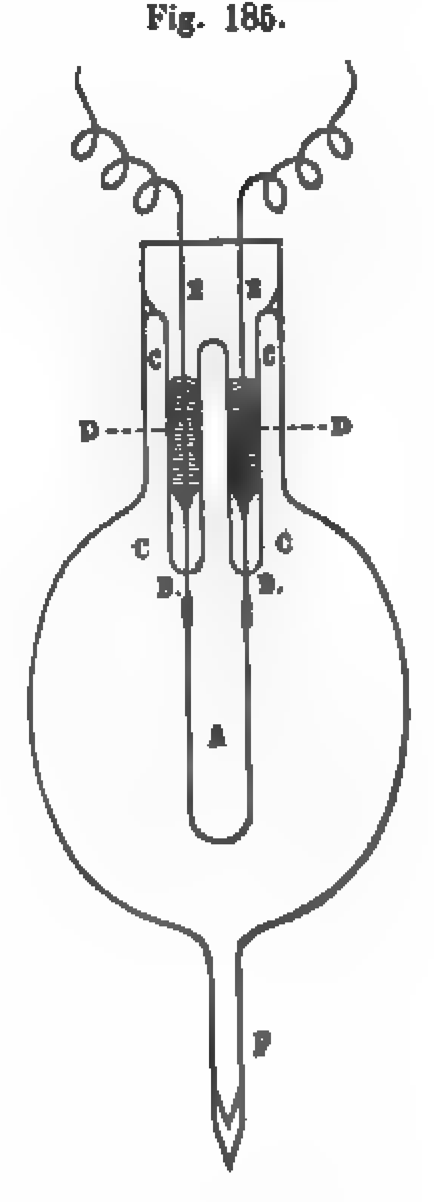
109. Die Lampen von Lane Fox und Sawyer.

Lane Fox windet zur Herstellung der Faser einen Faden von

[1]) Vgl. Z. f. a. E., Bd. 3, p. 243. L'ingénieur 1881, Nr. 1, p. 4.

Flachs oder Baumwolle, um ein Stück Kohle oder Graphit von der erforderlichen Gestalt, verschliesst das Ganze hermetisch in einen Schmelztiegel und erhitzt es alsdann zur Weissgluth. Die so karbonisirten Fäden werden nachher jeder besonders in eine Atmosphäre von Kohlenwasserstoff gebracht und ein galvanischer Strom hindurchgeleitet, um durch ihr Erglühen eine weitere Ablagerung von Kohlenstoff zu bewirken. Die Enden der Fäden werden bei *B B* um die Platindrähte gewunden; letztere sind in den Glasröhren *C C* eingeschmolzen, welche mit Quecksilber gefüllt sind, um einen hermetischen Verschluss herzustellen. Die Lampe wird durch *F* mit der Exhaustionspumpe in Verbindung gebracht und *A* während des Pumpens zur Weissgluth erhitzt, um die eingeschlossenen Gase zu entfernen. Diese Operation dauert ca. zwei Tage.[1])

Fig. 186.



Die Lampe von Lane Fox.

Auch die Methode *Sawyer's* besteht darin, die Kohle bis zu einer äusserst hohen Temperatur zu erhitzen, dadurch, dass durch sie der elektrische Strom fliesst, während sie in einen dichten Kohlenwasserstoffe eingetaucht ist. Als solchen aber nimmt *Sawyer* Olivenöl; den besten Erfolg erzielte er mit Weidenkohlenstäbchen, da sich auf diesen sehr rasch eine äusserst harte Lage von Kohle absetzt.

Im Gegensatze zu *Fox, Maxim* und *Swan* begnügt sich *Sawyer* nicht damit, die Glasglocke einfach luftleer zu machen, sucht vielmehr die §. 481 angedeuteten Zersetzungen dadurch zu verhüten, dass er die Lampe mit reinem Stickstoffe füllt und dafür sorgt, dass kein Sauerstoff zurückbleibt.

Sonst kann *Sawyer's* Lampe am ehesten mit *Konn's* Lampe verglichen werden; er wählt keine Faser, sondern einen Kohlenstab, welcher in der Weise befestigt ist, dass eine Leitung der Wärme nach dem unteren Theile der Lampe unmöglich ist.[2])

Praktisch als die besten bewähren sich die Lampen, bei denen

---

[1]) Vgl. Z. f. a. E., Bd. III, p. 90, 165 und 243.

[2]) Vgl. Electric light by Incandescence and its application to interior illumination. *Edward Sawyer.*

die Glocke 2 Zoll breit und 10 Zoll lang ist; ihre Leuchtkraft beträgt ca. 27 Kerzen.[1])

Wesentlich verschieden von dem unter *A* und *B* beschriebenen Glühlicht ist das

C. Glühlicht, welches mittelst Inductionsrollen gewonnen wird.

110. Versuche Jablochkoff's und Varley's.

Die Inductions-Apparate bestehen, wie wir §. 6 näher angeführt haben, im Wesentlichen aus zwei gut isolirten, über einander gewundenen Drahtrollen, von denen die eine innere aus dickem, die andere äussere aus dünnem Drahte besteht. Wenn man durch den dicken Draht einen galvanischen Strom leitet und denselben abwechselnd unterbricht und wieder herstellt, so entstehen bei jedem Schliessen und Oeffnen der Batterie in dem äusseren dünnen Drahte Inductionsströme von entgegengesetzter Richtung. Durch viele gut isolirte Drahtwindungen erlangen diese Ströme eine hohe Spannung und geben, wenn die Drahtenden einander nahe gebracht werden, sehr intensive, überspringende Funken. Wenn der durch den dicken Draht fliessende Batteriestrom durch eine besondere Unterbrechungs-Vorrichtung anhaltend sehr rasch hinter einander unterbrochen und wieder hergestellt wird, springen zwischen den genäherten Enden des dünnen Drahtes die Funken wie bei einer Elektrisirmaschine in einem fast ununterbrochenen Strome über und haben eine so hohe Temperatur, dass sie zum Zünden von leicht entzündlichen Substanzen (Sprengmaterialien, Schwefeläther, Leuchtgas u. s. w.) verwendet werden können.

Jablochkoff benutzte diese Inductionsfunken, um Plättchen von feuerfesten Körpern, z. B. von Kaolin, weissglühend zu machen. Zu diesem Zwecke liess er durch den dicken Draht der Inductionsrolle den kräftigen Strom entweder einer *Gramme*'schen Maschine mit Selbstunterbrechung oder einer magnet-elektrischen Maschine mit Wechselströmen hindurchgehen und leitete die überspringenden starken Funken des dünnen Drahtes auf die beiden Seiten eines dünnen Plättchens oder Stäbchens von Kaolin, welches dadurch weissglühend wurde und ein ruhiges, mildes, weisses Licht ausstrahlte. Es wurde auch versucht, die beiden Seiten des Kaolinstäbchens, welches einfach zwischen die beiden Enden des äusseren, dünnen Inductionsdrahtes gelegt wurde, mit einer dünnen Schicht Kohle zu überziehen, um durch diesen besseren Leiter den Strom gewissermaassen mehr anzuziehen und ihn auf das schlecht leitende Kaolinstäbchen zu führen.

---

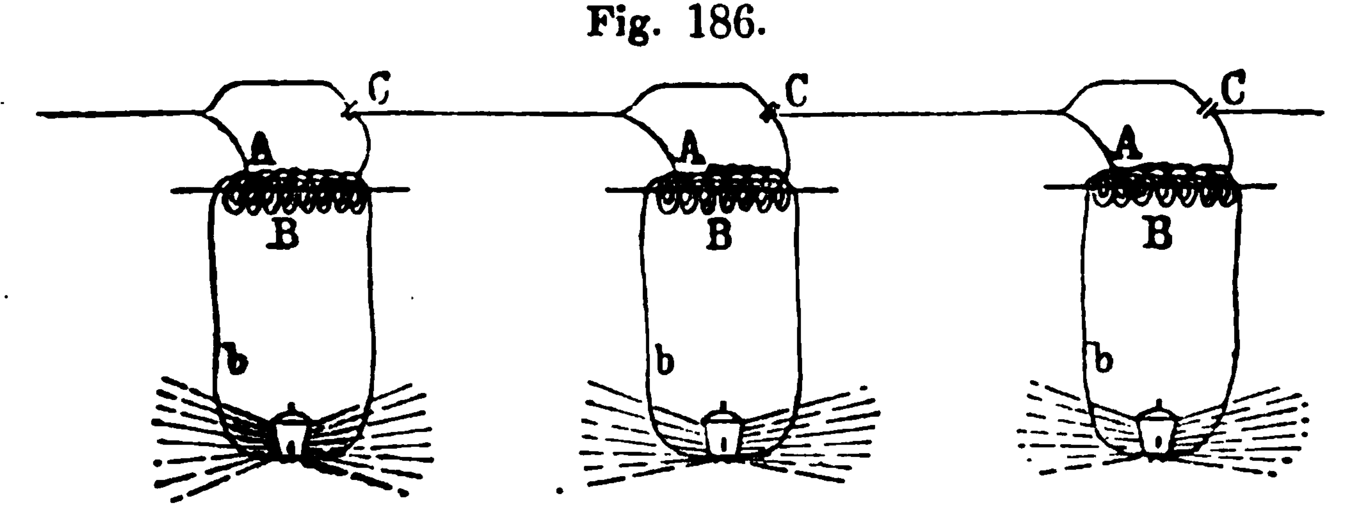
[1]) Vgl. Z. f. a. E., Bd. III, p. 62, 63 und 64. Neuerungen von *Lade & Clark*.

Die Funken sind nicht heiss genug, um das letztere zum Schmelzen zu bringen, wohl aber setzt es dem Durchgange der Inductionsströme einen so grossen Widerstand entgegen, dass eine bedeutende Temperatur-Erhöhung eintritt und das Stäbchen weissglühend wird. Man erhält auf diese Weise statt der überspringenden Funken, welche die Inductionsrolle gibt, ein continuirlich leuchtendes Band, welches eine weit grössere Länge annimmt, als der Funke für sich allein hat. Dieses rein weiss leuchtende Band, anstatt schnell zu verlöschen wie der Inductionsfunke, bildet eine dauernde Strahlenquelle, welche ein eben so angenehmes und ruhiges Licht gibt, wie eine gut brennende Lampe.

Die Lichtstärke des glühenden Kaolinstäbchens hängt ab von der Stärke des durch den dicken Draht fliessenden Maschinenstromes und von der Zahl und dem Durchmesser der Drahtwindungen. Je nach der Grösse der Inductionsrollen erhält man leuchtende Bänder oder Puncte von sehr verschiedener Stärke; während die helleren einer Lichtstärke von 15 Gasflammen entsprechen, geben die schwächsten ein Licht von 1 bis 2 Gasbrennern. Die Kaolinstäbchen erleiden während ihres Glühens eine gewisse Abnutzung, doch ist dieselbe bedeutend geringer als bei den *Jablochkoff*'schen Kerzen.

Wenn man in den Kreislauf des elektrichen Stromes mehrere Inductionsrollen hinter einander einschaltet und den Strom der Reihe nach durch den dicken Draht aller Rollen hindurchleitet, vgl. Fig. 186, so erhält man in den Kaolinplättchen der dünnen Drähte ebenso viele völlig von einander unabhängige Lichtbänder, als Rollen vorhanden sind. Mit *A A* sind in der Fig. 186 die einzelnen Primärleitungen bezeichnet, welche direct mit dem Hauptstrome in Verbindung stehen,

Fig. 186.



Elektrische Beleuchtung mittelst Inductionsrollen.

mit *B* die Inductionsspiralen, in deren Drähte *b* die Plättchen eingeschaltet sind; *C* bedeutet einen Stromwechsler, der gestattet, jedwede Lampe unabhängig von den anderen nach Belieben zu löschen oder anzuzünden. Auch kann man jede einzelne Rolle dicken Drahtes in verschiedene Abtheilungen zerlegen und darüber eine Rolle dünnen Drahtes winden; es macht dann jede Rolle für sich ein Kaolinband von passender Länge leuchtend und jedes Licht erhält in den vorhin angegebenen

Grenzen eine beliebige Lichtstärke. Bei den angestellten Versuchen machte es keine Schwierigkeit, 50 ganz von einander unabhängige Kaolinlichter von verschiedener Lichtstärke durch eine einzige Lichtmaschine herzustellen. Erlischt eines dieser Lichter, so hat das auf die übrigen keinen Einfluss, da jedes seine eigene Drahtrolle hat und nur die inneren Rollen des dicken Drahtes, welche eine einzige ununterbrochene Leitung bilden, eine directe Verbindung mit der Lichtmaschine haben.

Es ist nicht zu leugnen, dass diese Versuche *Jablochkoff's* ein hohes physicalisches Interesse haben; zu einer praktischen Anwendung im Grossen haben sie nicht geführt.

Gleiches ist der Fall mit den Neuerungen Varley's, welcher insofern einen neuen Weg einschlägt, als er an Stelle der seither benutzten Kohlenspitzen einen „Strahl" oder eine zusammenhängende „Schicht" fein gepulverten Graphits oder Kohlenstoffs anwendet. Dieses Pulver füllt er in ein trichterförmig zulaufendes Gefäss, welches durch eine kleine Oeffnung das Hindurchfliessen des Pulvers in der Weise gestattet, wie es bei Sanduhren hinsichtlich des Sandes der Fall ist. An der Mündung dieses Trichters oder an sonstiger Stelle sind Leiter so angeordnet, dass mittelst derselben, da sie andererseits mit der Elektricitätsquelle in Verbindung stehen, der Stromschluss herbeigeführt werden kann. Mag der Elektricitäts-Erreger nun eine kräftige Batterie oder eine dynamo-elektrische Maschine sein; sobald der in die Induktionsspirale geschaltete Strahl durch den Induktionsstrom stark erhitzt wird, strömt er ein beständiges Licht aus, welches so lange ununterbrochen andauert, als der erwähnte Strom pulverisirten Materials anhält. Die Spannung des hierzu erforderlichen elektrischen Stromes braucht nach *Varley* weniger gross zu sein, als die eines solchen, der durch Funken-Springen über einen veränderten Zwischenraum weg die nämliche Wirkung hervorbringen soll.[1])

Schliesslich wollen wir noch erwähnen, dass *Jablochkoff* einen kolossalen Condensator aus gefirnisstem Seidentaffet und Stanniol hergestellt hat, der trotz seiner Grösse zusammengelegt nicht viel Raum einnimmt. Die beiden metallischen Flächen stehen in Verbindung mit den beiden Polen (Bürsten) einer Lichtmaschine für Wechselstrom und bieten den beiden Elektricitäten sehr grosse Oberflächen dar, auf welchen sie sich gegenseitig anziehen, anhäufen und bis zu dem Momente verdichten, wo der Strom seine Richtung wechselt; es folgt dann durch die Ladung mit den entgegengesetzten Elektricitäten zunächst eine Ausgleichung der früheren Elektricitäten und eine neue Ansammlung und Verdichtung der neuen im entgegengesetzten Sinne. Dieses Spiel wiederholt sich ununterbrochen während der Thätigkeit

[1]) Vgl. Z. f. a. E., Bd. II, p. 203 und 221.

der Lichtmaschine und verändert die Strömung der Elektricitäten durch den Leitungsdraht, wie wir sie ohne Einschaltung des Condensators zu sehen gewohnt sind, in auffälliger und noch nicht ganz aufgeklärter Weise. Wenn man aber bei eingeschaltetem Condensator die Leitung an irgend einer Stelle unterbricht, so entstehen schnell hintereinander äusserst lebhafte, glänzende Funken wie Feuerstreifen, umgeben von einer sehr stark leuchtenden gelben Flamme und von einem tonähnlichen Brummen begleitet, das an Höhe den Tönen der Maschine selbst gleichkommt. Letzteres rührt von der schnellen Erzeugung der zahlreichen Wechselströme und der damit verbundenen Erschütterung der Luft her, und die Uebereinstimmung der beiden Tonhöhen zeigt, dass die periodischen Intervalle zwischen den Funken und die Zahl der durch die letzteren erzeugten Luft-Impulse gegen das Ohr dieselben sind, wie die Unterbrechungen in der Lichtmaschine. *Jamin* bezeichnet diese Erscheinungen als die glänzendsten, welche man auf dem Gebiete der Elektricität machen könne, und fügt hinzu, dass man durch Einschalten eines Condensators in den Kreislauf des Stromes im Stande sei, die Anzahl der *Jablochkoff*'schen Kerzen, die dieser überhaupt speisen könne, zu verdoppeln, dass jedoch die Lichtstärke einer jeden Kerze dadurch auf die Hälfte reducirt werde. Beträgt diese ohne Condensator 50 Carcel-Brenner, so ist sie nach Einschaltung des Condensators nur 25 Carcel-Brenner, aber dafür hat man auch doppelt so viele Lichter, so dass das neue Princip *Jablochkoff's* thatsächlich eine bedeutende Vergrösserung der Theilung des elektrischen Lichtes in sich schliesst.

XII. Abtheilung.

Betriebs- und Regulir-Apparate.

111. Vergleichung der magnet-elektrischen und der dynamo-elektrischen Lichtmaschinen. Man kann die bis jetzt construirten Lichtmaschinen in magnet-elektrische und dynamo-elektrische Maschinen eintheilen; die ersteren zerfallen dann noch in solche mit Stahlmagneten und in solche mit Elektromagneten. Die mit Stahlmagneten versehenen Maschinen, zu denen die Maschinen der Gesellschaft *l'Alliance* und von *Holmes* (§. 15), *Wilde* (§. 18), *Siemens-Halske* (§. 16) und von *de Méritens* (§. 20) gehören, gewinnen die elektrischen Ströme aus permanenten Magneten, die anderen Maschinen erzeugen diese Ströme vermittelst der künstlichen oder der Elektromagnete. Wendet man zur Erregung dieser Elektromagnete besondere zu diesem Zwecke eigens construirte Stromerreger an, wie bei den neueren Wechselstrom-Maschinen von *Gramme*, *Lontin* und *Siemens-Halske*, so gehören die entsprechenden Lichtmaschinen zu der Classe der magnet-elektrischen Maschinen; entnimmt man aber die zur Erregung der Elektromagnete erforderlichen Ströme der Lichtmaschine selbst, indem man die Inductordrähte mit denen der Elektromagnete in Verbindung bringt und demnach die Inductorrollen, die inducirend wirkenden Elektromagnete und die in der Leitung befindlichen elektrischen Lichter sich in einem einzigen Strom-

kreise befinden, so gehört die Lichtmaschine zu der Classe der dynamo-elektrischen Maschinen.

Da die mit Stahlmagneten versehenen Maschinen ihre inducirend wirkende Kraft eben in den permanenten Magneten stets in Vorrath haben, die übrigen Maschinen aber zur Erzeugung kräftige Magnete besonderer Stromerreger und hierzu eines besonderen Kraftaufwandes bedürfen, so sind die ersteren Maschinen schon von diesem Gesichtspuncte aus betrachtet in ökonomischer Beziehung vortheilhafter als die anderen. Aber auch noch in anderer Beziehung haben alle magnet-elektrischen Maschinen, mögen sie gleichgerichtete oder Wechselströme liefern, wenn es sich um die Erzeugung eines möglichst gleichmässigen elektrischen Lichtes handelt, einen grossen Vortheil vor den dynamo-elektrischen Maschinen voraus. Die inducirende Wirkung der Stahlmagnete ist nämlich unabhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher die Drahtspulen (der Inductor) vor oder unter ihren Polen vorbeirotiren; diese magnetische Kraft ist ferner ganz unabhängig von den äusseren im Stromkreise befindlichen Widerständen; sie behält stets die gleiche Stärke, mag der Widerstand in der Leitung, also insbesondere in den elektrischen Lichtern, während ihrer Arbeit zu- oder abnehmen. Ganz anders bei den dynamo-elektrischen Maschinen. Hier hängt die Stärke der inducirend wirkenden Elektromagnete ganz von der Stärke der erzeugten Inductionsströme, also von der Geschwindigkeit der Rotation ab, und die kleinsten Schwankungen in diesen Inductionsströmen übertragen sich sofort auf die erregenden Elektromagnete, welche dann ihrerseits wieder verstärkend oder schwächend auf die Inductionsströme einwirken. Schon ein unbedeutendes Gleiten des Treibriemens macht sich in den Strömen einer dynamo-elektrischen Lichtmaschine und daher in dem elektrischen Lichte selbst fühlbar; aber sehr viel mehr noch thun dieses etwaige Schwankungen in den äusseren

Widerständen, also Veränderungen in der Länge des Flammenbogens zwischen den Kohlenspitzen. In dem Augenblick, wo diese beim ersten Schliessen der Leitung zusammenstossen und der das Licht erzeugende Strom zuerst auftritt, ist der Widerstand in der Leitung verhältnissmässig gering und der Strom daher entsprechend stark. Springen nun die Kohlenstäbe unter dem Einflusse des Lampen-Regulirwerks nicht sofort auseinander, so nehmen die Elektromagnete in der dynamo-elektrischen Maschine in wenigen Secunden den höchsten Grad des Magnetismus an, der dann wieder auf die Ströme des Inductors verstärkend einwirkt und ein magnetisches Feld zwischen den Polen der Elektromagnete von solcher Intensität erzeugt, dass es von Seiten des Motors des höchsten Kraftaufwandes bedarf, um die Inductorrolle durch dieses dichte magnetische Feld hindurchzutreiben. Die Folge hiervon ist bei schwächeren Motoren, dass sie sehr bald zum Stillstande kommen, und bei grösseren, welche überschüssige Kraft haben, dass sie langsamer gehen.

Aber auch wenn die Kohlenspitzen nach ihrer ersten Berührung sofort auseinandergehen, wie dieses bei einer guten Lampe der Fall ist, treten grosse Veränderungen in dem Widerstande des Lichtbogens und also in der Stromstärke ein, welche sich sofort auf die Elektromagnete der Lichtmaschine übertragen und ihren Gang beeinflussen; das Abbrennen der Kohlen macht den Lichtbogen länger und den Widerstand grösser, die Annäherung derselben verkürzt den Bogen und macht den Widerstand kleiner, und so hat das fortwährende Reguliren des Bogens in der Lampe grossen Einfluss auf die Stromstärke in der Maschine und auf die stromerregende Kraft der Elektromagnete. Die Folge hiervon ist aber eine stets sich verändernde Intensität des Lichtes selbst, ein Flackern des Lichtes, welches für das Auge oft unangenehm ist.

Mit Recht konnte also *A. Siemens* der Society of Tele-

graph Engineers berichten, dass bei den dynamo-elektrischen Maschinen die Intensität des magnetischen Feldes, in welchem die Armatur rotirt, sehr variire und dass die Thätigkeit solcher Lampen, die nicht sehr regelmässig functioniren, in der ungünstigsten Weise auf die Maschine zurückwirkt, indem sie das magnetische Feld schwäche, wenn der Widerstand am grössten und der Strom am nöthigsten sei, die stärksten Ströme hingegen erzeuge, wenn der kleinste Widerstand zu überwinden sei.

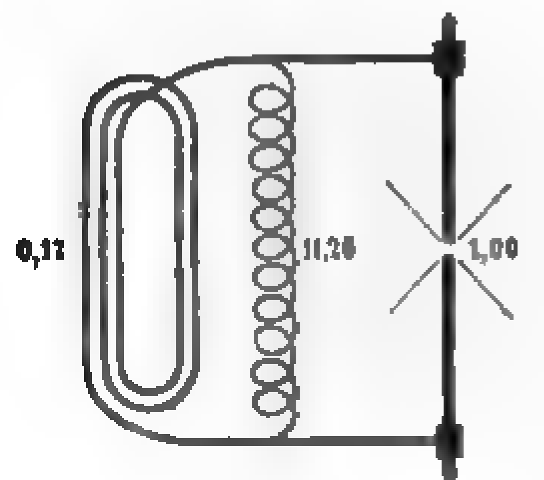
Doch abgesehen davon, dass sehr empfindliche Lampen häufig zu complicirt und daher für die rohe Praxis wenig geeignet sind, ist es auch nicht die Lampe allein, welche Widerstandsveränderungen bewirkt; vielmehr ist an mehreren Stellen des Stromkreises die Möglichkeit zufälliger Widerstände gegeben. Hierhin gehören vornehmlich die Uebergangswiderstände am Stromsammler und den Bürsten; so ruft jede Beschmutzung des Stromsammlers mit Oel Uebergangswiderstände hervor, welche der Natur der Sache nach variabel sind. Auch kann die Beschmutzung der Stifte, auf welchen die Bürstenhalter drehbar aufgesteckt sind, beträchtliche Uebergangswiderstände zur Folge haben, welche die Stromentwicklung fast ganz stören können. Wohl kann reinliche Instandhaltung einer Maschine die gerügten Mängel nicht aufkommen lassen; die Annahme aber, dass noch andere variabele Widerstände möglich sind, die nicht ohne Weiteres zu erkennen und zu beseitigen sind, führte zu einigen Veränderungen an der Einrichtung des Stromkreises.

Es fand sich nämlich, dass die starke Empfindlichkeit der Maschine gegen Schwankungen des äusseren Widerstandes durch Einschaltung eines constanten Widerstandes erheblich gemindert werden kann. Derselbe kann in einer Vermehrung der Drahtwindungen auf Magnet und Anker der Maschine beruhen; besser ist es übrigens, den Widerstand durch mehrere elektrische Lampen zu ersetzen, wonach

also bei getheiltem elektrischen Lichte die Widerstands-Variationen einer einzelnen Lampe gegen den Totalwiderstand zurücktreten.

Eine andere Methode zur Verminderung der Stromschwankungen, welche bei den *Siemens*'schen dynamo-elektrischen Maschinen bereits mit gutem Resultate befolgt wird, besteht darin, dass die Elektromagnete in einer Zweigleitung des Inductors liegen und einen weit grösseren Widerstand (11,26 *S. E.*) erhalten. Fig. 187 gibt das Schema einer solchen Maschine, deren Pole mit einer elektrischen Lampe verbunden sind; die ebene Spirale stellt den Inductor, die cylindrische die Elektromagnete dar. Wird hiernach der Widerstand des äusseren Stromkreises, z. B. durch Berühren der Kohlenstäbe gleich 0, so wird der Elektromagnet fast ganz stromlos, so dass die Isolation der Maschine nicht gefährdet ist.

Fig. 187.



Die Siemens'sche Schaltung.

Die Schaltung von *Brush* besteht darin, dass der Elektromagnet noch eine zweite Wickelung von ganz dünnem Draht erhält, welche mit den Bürsten in Verbindung steht und demnach einen Nebenschluss zum äusseren Stromkreise bildet. Hierdurch wird die Intensität des magnetischen Feldes vom äusseren Stromkreise in etwa unabhängig.[1])

Am vortheilhaftesten ist jedoch immerhin, dass zur Erzeugung des elektrischen Lichtes namentlich bei mehreren Lampen eines und desselben Stromkreises magnet-elektrische Maschinen, die dynamo-elektrischen Maschinen aber nur zur Magnetisirung der Elektromagnete der Lichtmaschine verwendet werden.

[1]) Genaueres siehe Z. f. a. E. 1881, p. 284.

112. Motoren, Kabel und Bürsten. Aus dem Gesagten ergibt sich bereits, dass die elektrischen, insbesondere die dynamo-elektrischen Maschinen in sehr gleichmässiger Weise betrieben werden müssen. Zum Betriebe einer kräftigen Lichtmaschine ist stets eine Dampfmaschine oder ein anderer Motor erforderlich.

Denken wir etwa an die *Siemens-Halske*'sche Maschine (vgl. Fig. 187); so lange die Leitung offen ist und die Klemmen 2, 3 nicht metallisch verbunden sind, ist zur Drehung der Trommel nur so viel Kraftaufwand nöthig, als zur Ueberwindung der Reibung in den Zapfenlagern F_1 F_2 erforderlich ist. Wird dagegen die Leitung geschlossen, etwa dadurch, dass eine elektrische Lampe in den äusseren Stromkreis eingeschaltet wird, so treten bei der anfänglichen Drehung der Trommel, wenn nur eine Spur von Magnetismus in den Armaturen $N N_1$ und $S S_1$ vorhanden ist, sofort die Inductionsströme in der Trommel auf, die, weil sie die Elektromagnete kräftigen, verstärkend auf die Armaturen einwirken und dadurch selbst verstärkt werden. Es nimmt so die von der Maschine gelieferte Elektricitätsmenge, zugleich aber auch die von ihr verbrauchte mechanische Arbeit sehr rasch zu, da jeder Zuwachs an Magnetismus eine entsprechende Verstärkung der Strom-Intensität nach sich zieht. Aus diesem Grunde ist zur Erzeugung eines r u h i g e n elektrischen Lichtes ein Motor, und zwar ein Motor von gleichmässigem Gang durchaus nöthig und eben desshalb müssen alle für den Betrieb von dynamo-elektrischen Lichtmaschinen angewendete Motoren zur Erzielung eines möglichst gleichförmigen Ganges mit zuverlässig functionirenden Regulatoren ausgerüstet werden.

Dazu kann in Werken, wo schon aus anderen Gründen eine constante Tourenzahl von höchster Wichtigkeit ist, der bereits vorhandene Motor recht gut gebraucht werden. Bedingen aber verschiedene und unregelmässige Arbeiten

eine ungleichmässige Geschwindigkeit des Motors, so kann derselbe zum Betreiben der Lichtmaschine nicht dienen, da letztere alsdann nur ungleichmässiges und daher unschönes Licht erzeugen würde. In diesem Falle muss vielmehr ein besonderer Motor, welcher solide construirt, mit leicht zugänglichen Selbstölern und einem guten Regulator versehen ist, genommen werden. Von vielen Fabricanten[1]) werden speciell zum Betriebe von Lichtmaschinen geeignete Dampfmaschinen gebaut; als praktische und handliche Motoren werden auch die Gasmaschinen vielfach gebraucht. Ferner können Turbinen und Wasserräder verschiedener Art mit Nutzen verwandt werden, wenn eine ausgiebige stetige Wasserkraft zur Verfügung steht.

Wenn nach den Erörterungen der Abth. VI die Stärke des Stromes nicht nur von der Tourenzahl der Maschine, sondern auch von dem Gesammtwiderstande der Leitung abhängt, in vielen Fällen aber die Drahtleitung ihrer Länge wegen einen nicht unwesentlichen Theil des Stromkreises bildet, so darf dieselbe keineswegs beliebig gewählt werden. Da die Leitungsfähigkeit eines Drahtes proportional mit der Dicke, umgekehrt proportional zur Länge desselben wächst, so müssen die Kabel um so dicker gewählt werden, je weiter dieselben von der Stromquelle führen.

[1]) Zu beachten sind u. A.: Die rotirende Dampfmaschine, System *Dolgorouki*, von *Siemens* und *Halske*, (siehe *Glaser's* Annalen, 1880, p. 505 und 1881, p. 493); die fahrbare zweicylindrige Dampfmaschine von *A. Borsig* in Berlin; diverse Dampfmaschinen von *Ransomes, Head & Jefferies* (vgl. The Electrician, Vol. VII, Nr. 13), *Robey & Comp.* (vgl. The Electrician, Vol. VII, Nr. 14), *Nayer & Comp., Carrels frères de Gand, Weyher & Richemond, Brotherood, Warral-Elwel & Middleton, Marshall, Sons & Comp., Hermann-Lachapelle* u. s. w. (Vgl. La force motrice à l'exposition de Paris: L'ingénieur 1881, p. 178, 198, 267, 291, 321 u. s. w.); *Otto's* neuer Motor, Gasmotoren-Fabrik Deutz (siehe u. A. Special-Katalog der i. A. f. E. für Deutschland, p. 11), die Gasmaschine von *Thomsen, Sterne & Comp.*

Crompton sammelte in dieser Beziehung folgende Erfahrung:

„Mit *Gramme*'schen Maschinen, Modell A, genügen die nachfolgenden Drahtgewichte per 100 Yards (à 0,91437 m). In dringenden Fällen kann man sich mit der Hälfte der hier gegebenen Gewichte begnügen, aber die Maschinen müssen dann 200—300 Touren mehr machen und die Anlage ist nicht mehr ökonomisch. Bei Bestellungen von Leitungsdrähten sollte stets eine Leitungsfähigkeit von wenigstens 96 % des reinen Kupfers verlangt werden. Diese Leitungsfähigkeit ist leicht zu erhalten und wird von guten Fabrikanten garantirt.

Entfernung von der Maschine in Yards.	Kupfergewicht per 100 Yards in kg.	Nächste Nr. *B. W. Gauge.*	Durchmesser in mm.	Widerstand per 100 Yards in *Ohms.*
50	5,67	11	3,05	0,23
100	7,09	10	3,40	0,177
150	8,94	8	4,19	0,124
200	14,39	6½	4,86	0,095
250	17,44	5½	5,38	0,075
300	19,18	5	5,59	0,066
400	21,36	4	6,05	0,056 [1])

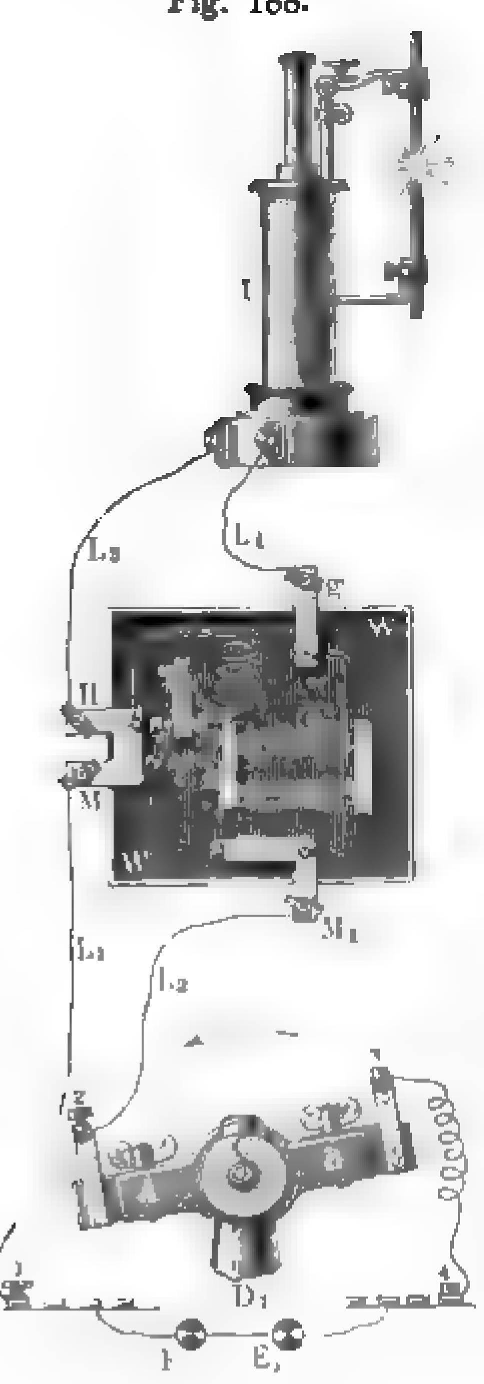
Hieraus ersehen wir, dass zur Gewinnung desjenigen Stromes, welcher bei der Construction einer Lichtmaschine vorgesehen wurde, je nach der Entfernung der Lampe von der Maschine sehr verschiedene Drähte verwandt werden müssen.

Besondere Beachtung verdienen auch stets die Bürsten, nicht nur bezüglich ihrer Reinheit (s. oben), sondern auch ihrer Stellung. Dieselben müssen nämlich stets zum Stromsammler in einer schrägen Lage stehen und an der Stelle aufliegen, wo sich die wenigsten Funken bilden. Diese Stellung ist durch sorgfältige Untersuchung zu ermitteln

[1]) Vgl. *Crompton*: Die elektr. Beleuchtung. Deutsch von *Uppenborn.*

und zu sichern, sowie keineswegs eher zu ändern, bis ein Nachschieben der Bürsten erforderlich ist. Damit diese und der Stromsammler nicht zu rasch abnutzen, darf der Druck der Bürsten auf den Stromsammler nicht grösser sein als eben zum dauernden Anliegen erforderlich ist; sollte ein Oelen des Stromsammlers (Commutators) die Abnutzung schwächen, so dürfte dieser Vortheil wegen des durchs Oelen bedingten variabelen Widerstandes kaum in Betracht zu ziehen sein.

Fig. 188.



Umschalter zu Siemens-Halske's Lichtmaschine.

Gesetzt nun, dass alle zur Erzeugung eines guten elektrischen Lichtes dienenden Mittel, also der Motor, die Lichtmaschine, die Lampe und Kabel in vorzüglichstem Zustande sind, so können immerhin Fälle eintreten, welche recht störend wirken und daher auf jeden Fall beseitigt werden müssen. So kann es vorkommen, dass durch irgend eine äussere Veranlassung, z. B. durch Unreinheit der Kohlen, der Lichtbogen plötzlich verlöscht und der Strom unterbrochen wird. In einem solchen Falle sinkt der Kraftverbrauch der Maschine plötzlich fast auf Null herab, und eine bedeutende, ja, gefährliche Erhöhung der Umlaufsgeschwindigkeit des Inductors würde die Folge hiervon sein, wenn die Betriebsmaschine fortfahren würde, mit gleicher Kraft zu arbeiten, ohne dass ihr ein entsprechender Widerstand dargeboten würde.

Um dieser Gefahr vorzubeugen, haben *Siemens-Halske* mit ihrer Trommel-Maschine einen

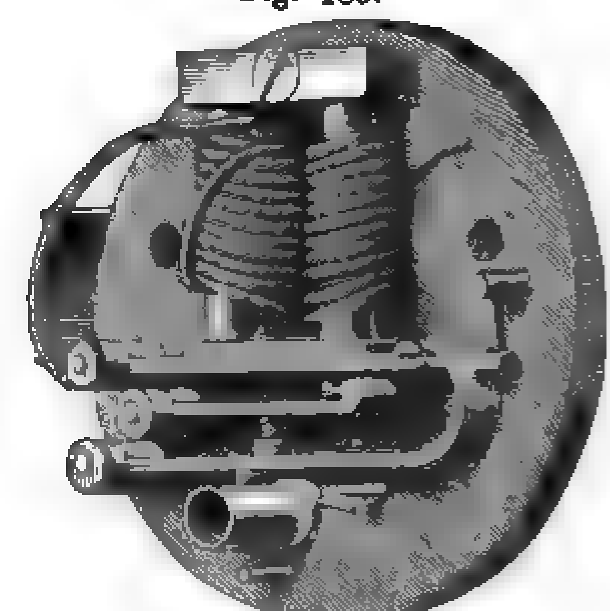
113. Selbstthätigen Umschalter verbunden, durch welchen automatisch in demselben Augenblicke ein künstlicher Widerstand in die Leitung eingeschaltet wird, wo dieselbe aus irgend einer Ursache in der elektrischen Lampe unterbrochen wird. Die Einrichtung und Schaltungsweise eines solchen Umschalters ist aus der Fig. 188 zu ersehen, in welcher *A B* den in Figur 98 beschriebenen Klemmenträger, D_1 den vordern Träger der Eisenstange *C*, *E* E_1 die beiden Elektromagnete der Maschine (Fig. 98), *U* die elektrische Lampe und *W W* den Umschalter bezeichnet. Letzterer besteht aus einem Elektromagnet *K*, mit Anker *h*, der Abreissfeder *f*, der Contactschraube *v* und dem künstlichen Widerstande *q*, der an Grösse ungefähr dem Widerstande gleich kommt, welchen der Flammenbogen dem elektrischen Strome entgegensetzt. Dem dynamo-elektrischen Princip gemäss sind die beiden Elektromagnete der Maschine in dem Schliessungskreise des aus der letzteren bei den Klemmen 2 und 3 eintretenden Inductionsstromes zwischen den Klemmen 1 und 4 eingeschaltet; die übrigen Theile der Leitung zeigt die Figur ohne Weiteres.

Der Strom verfolgt den Weg von 3 aus über 4, E_1, *E*, 1, L_1, *M*, *H*, L_3, Lampe *U*, L_4, *g*, *K*, M_1, L_2 nach 2 zurück. Da der kleine Elektromagnet, so lange der Strom durch die Kohlenstäbchen der Lampe geht, vom Strome umflossen ist, so hält er seinen Anker *h* angezogen und von der Contactschraube *v* entfernt. Sobald aber der Flammenbogen zwischen den Kohlenspitzen erlöscht, wird der Strom für einen Augenblick unterbrochen; die Feder *f* reisst dann den nicht mehr angezogenen Anker *h* ab, legt ihn an den Contact *v* an und schliesst dadurch die in der Lampe unterbrochene Leitung von Neuem, wobei dem Strome mit Umgehung der Lampe und des Elektromagnets *K* ein

neuer Weg über M, q, v, h, M_1, L_2 u. s. w. durch den Widerstand q dargeboten wird. Da nun q dem Widerstande des Lichtbogens nahezu gleichgewählt wird, so bleibt der Strom nicht bloss während des Nichtleuchtens der Lampe hergestellt, sondern er circulirt auch nahezu in unveränderter Stärke durch die Leitung, mag die Lampe leuchten oder nicht. Stellt die Lampe durch ihre eigene Thätigkeit den Lichtbogen wieder her, so geht der Strom wieder über L_1, g durch K, wodurch der Contact v geöffnet und der anfängliche Zustand in der Leitung wieder hergestellt wird.

Gleiches erfolgt durch die in §. 80 beschriebenen Nebenlampen, welche ausserdem den Vortheil gewähren, dass bei Anwendung einer einzelnen Lampe niemals plötzliche Dunkelheit eintreten kann.

Fig. 189.



Ein Umschalter nach Sawyer.

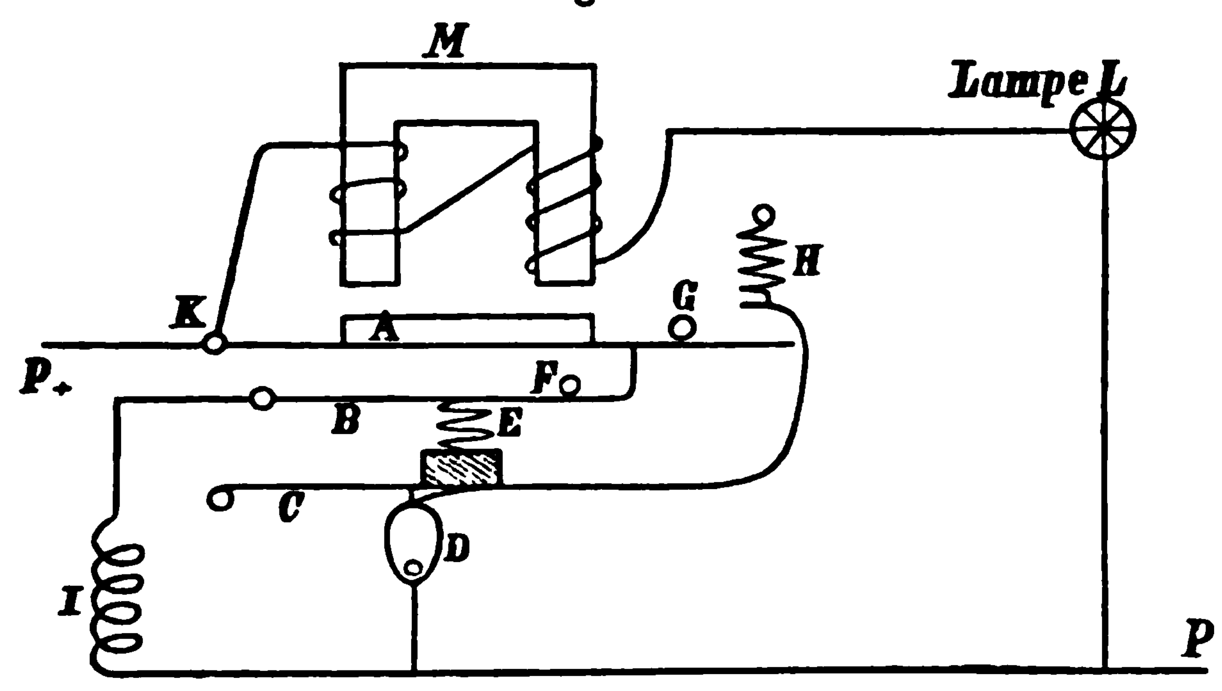
Selbstthätige Umschalter (vgl. §. 90, 94) sind auch mit Nebenschluss- u. Differential-Lampen zu verbinden, bei welchen zwar der Strom im Nothfalle den Nebenschluss durchfliessen könnte, dadurch aber bei dem grossen Widerstand zu sehr geschwächt würde.

Verfolgen die automatischen Umschalter den Zweck, dass im Falle des Erlöschens einer Lampe der Strom nicht unterbrochen wird, so gibt es andere Umschalter, durch welche eine Lampe angezündet bezw. gelöscht werden kann, je nachdem ihr der elektrische Strom zu- oder abgeführt wird. Da diese Umschalter bekannt sein dürften, so sollen einige der vielen Umschalter Erwähnung finden, welche gleichzeitig die Intensität des Lichtes zu reguliren gestatten und hauptsächlich bei der Incandescenz-Beleuchtung Verwendung finden.

So zeigt die Fig. 189 den

114. Umschalter nach Sawyer, welcher mit einer Kapsel (Fig. 191) geschlossen und am Fusse der Glühlicht-Lampe befestigt wird. Die Anordnung desselben erhellt aus der Fig. 190. Der zu dem Elektromagnet *M* gehörige Anker *A* ist als Hebel construirt; zwei andere Hebel sind *B* und *C*. *D* ist eine Schraube, welche etwas breiter als die Schraube *S* und auf dieser excentrisch befestigt ist und daher je nach der Stellung der Schraube *S* den Hebel *C* mehr oder weniger

Fig. 190.



Schematische Darstellung des S.-Umschalters. (Vgl. Fig. 189.)

hebt. Der Hebel *C* wird durch die Spiralfeder *H* nach unten, Hebel *B* dagegen durch die isolirt befestigte Feder *E* nach oben gedrückt. *F* und *G* sind Hemmstifte, *J* ein künstlicher Widerstand.

In der in Fig. 190 gezeichneten Stellung ist Hebel *A* in Berührung mit dem Stifte *G*, Hebel *B* mit dem Stifte *F*, aber nicht mit dem Hebel *A* und Hebel *C* mit der Scheibe *D*, aber nicht mit Hebel *A*. Daher geht der Strom den Weg *P*+, *K*, *M*, *L*, *P*— und durchfliesst in seiner ganzen Stärke die Lampe.

Wird die Scheibe *D* jedoch etwas nach rechts gedreht, so zwar, dass sie mit *C* in Berührung bleibt, *C* aber dem Drucke der Feder *H* folgend, mit dem Hebel *A* in Contact kommt, so ist die Lampe kurz geschlossen, da des kleineren Widerstandes wegen der Strom den Weg *P*+, *A*, *C*, *D*, *P* —

verfolgt; bei der mittleren Stellung der Schraube ist demnach die Lampe ausgelöscht.

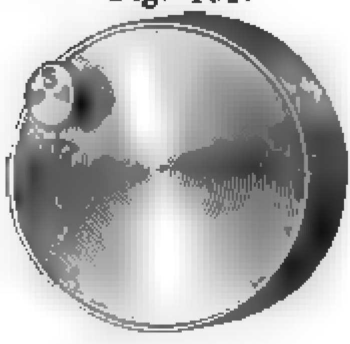
Dreht man schliesslich die Scheibe *D* noch mehr nach rechts, so dass *D* den Hebel *C* nicht mehr berührt, *C* aber, noch weiter fallend, den Hebel *A* mit dem Hebel *B* verbindet, so theilt sich der Strom des künstlichen Widerstandes *J* wegen in zwei Theile, so dass ein Theil des Stromes die Lampe ($P+$, K, M, L, $P-$), ein anderer den künstlichen Widerstand ($P+$, K, A, B, J, $P-$) durchfliesst. Je nachdem daher *J* bemessen ist, wird das Licht der Lampe etwa die Hälfte desjenigen sein, welches bei der zuerst betrachteten Stellung der Schraube geliefert wurde.

Der Umschalter kann auch als ein automatischer bezeichnet werden. Tritt nämlich eine Unterbrechung des Stromes in der Lampe ein, so senkt sich der Hebel *A* bis zur Berührung mit dem Hebel *B*, so dass der Strom den Weg $P+$, K, A, F u. s. w. verfolgen kann.

Es ist ersichtlich, dass *Sawyer's* Umschalter bei jeder Lampe angebracht, eine beliebige Anzahl der mit dem Umschalter versehenen Lampen durch eine Lichtmaschine gespeist, und eine jede Lampe angezündet bezw. gelöscht werden kann, ohne dass die anderen Lampen in ihrer Thätigkeit gestört werden.

Gleiches ist der Fall bei dem folgenden Umschalter, der zwar nicht „automatisch“ wirken kann, dafür aber eine ausgedehntere Regulirung des Lichtes gestattet. In einer Kapsel, ähnlich der in Fig. 191 abgebildeten, befindet sich eine isolirende Scheibe, auf welcher vier verschiedene grosse Messingtheile einen unterbrochenen Ring bilden; auf diesen wird mittelst einer an dem Schlussdeckel befestigten Feder eine Contactstange gedrückt, welche durch einen Eisenstift geführt werden


Fig. 191.

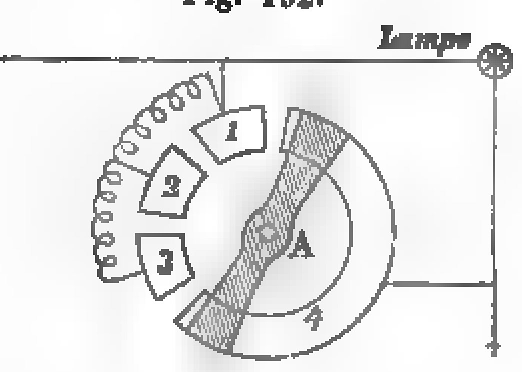


Eine Kapsel zum Umschalter.

kann. Letzterer geht nämlich frei durch den Schlussdeckel hindurch und endigt in einem Fingerstücke.

Liegen beide Enden der Querstange *A* auf dem Segmente 4, so geht der ganze Strom durch die Lampe. Wenn die Querstange auf den Segmenten 3 und 4 ruht, so theilt sich der Strom, indem ein Theil durch die Lampe und ein Theil durch den künstlichen Widerstand von 0,50 geht. Ruht die Stange auf den Segmenten 2 und 4, so wird der Strom auf die Lampe und den künstlichen Widerstand von 0,25 *Ohm* vertheilt. Wenn sie auf den Segmenten 1 und 4 ruht, so ist die Lampe kurz geschlossen und erhält keinen Strom.

Fig. 192.

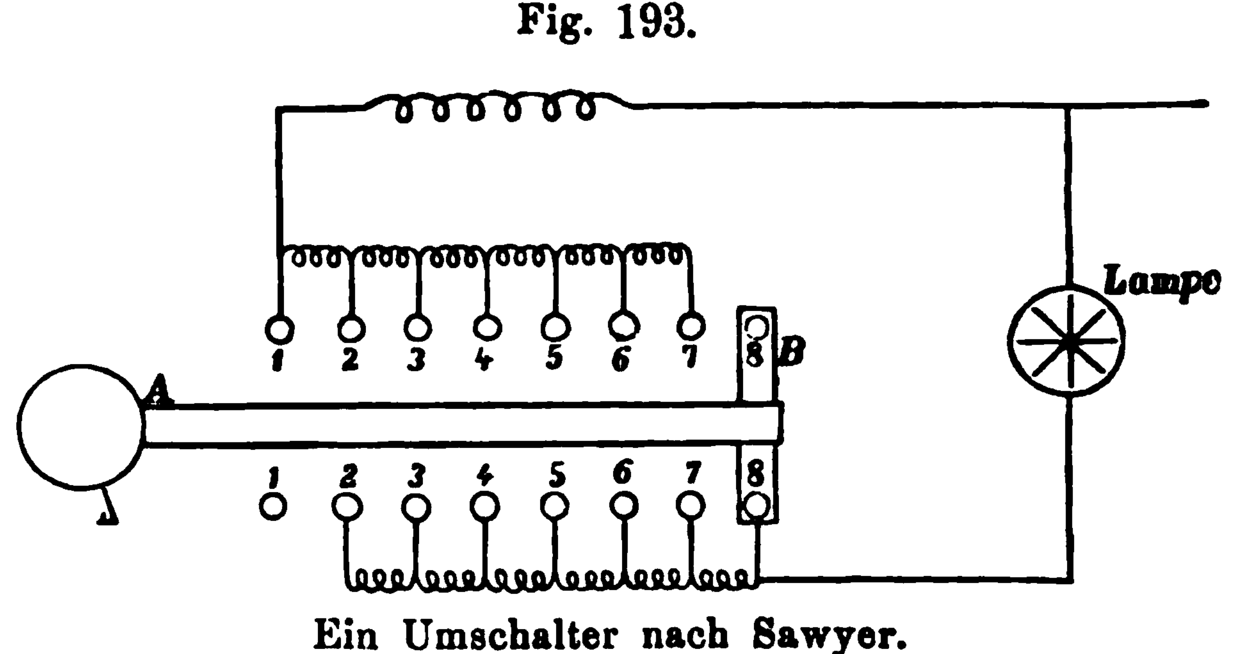


Ein Umschalter nach Sawyer.

Löscht man mittelst des vorstehend beschriebenen Umschalters eine Lampe aus, so verringert man dadurch den Widerstand des Stromkreises, erhöht also die Stromstärke und erzielt eine grössere Leuchtkraft der noch brennenden Lampen. In manchen Fällen ist es aber wünschenswerth, ein möglichst gleichförmiges Licht zu erhalten. Ein solches erhält man bei Anwendung des in Fig. 193 abgebildeten Umschalters, der auch ein Springen der Kohlen in Incandescenz-Lampen in Folge der zu raschen Erhitzung beim Anzünden der Lampe verhindert. Jede Lampe erhält eine Nebenschliessung zu dem Kohlenstabe von dem nämlichen Widerstand wie dieser (z. B. 0,95 *Ohm's*); der ankommende Strom tritt zunächst an ein Contactstück des Umschalters und wird in dessen beiden äussersten Stellungen, in der tiefsten bloss durch die Nebenschliessung, in der höchsten bloss durch die Lampe geführt; in den sechs Zwischenstellungen aber geht er durch Nebenschliessung und Lampe zugleich in zwei Zweigen, die sich hinter beiden wieder vereinigen; dabei ist der durch die Lampe gehende Zweig in den sechs

Zwischenstellungen bezw. $^1/_4$, $^1/_2$, $^5/_8$, $^3/_4$, $^7/_8$ und $^{15}/_{16}$ des ganzen Stromes. Um dies zu erreichen und zugleich in allen Stellungen des Contactstückes einen Gesammtwiderstand von derselben Grösse (0,95 *Ohms*) zu beschaffen, sind zwischen die Contactpunkte, mit denen das Contactstück nach und nach paarweise in Berührung tritt, wenn es beim

Fig. 193.



Ein Umschalter nach Sawyer.

Umdrehen einer Kurbel durch einen auf der Kurbelachse sitzenden Daumen ruckweise vorwärts bewegt wird, noch Widerstände von folgender Grösse gelegt:

Zwischen dem Contactstück	1u.2	2u.3	3u.4	4u.5	5u.6	6u.7	7u.8	
Auf der Seite der Nebenschliessung	0,317	0,633	0,633	1,267	3,8	7,6	∞	*Ohms*
Auf der Seite der Lampe	∞	1,9	0,38	0,253	0,181	0,072	0,063	*Ohms*

Bei der zweiten Stellung des Contactstückes ($^1/_4$ des Stromes durch die Lampe) wird der Kohlenstab dunkelroth, auf den Contacten 3 hellroth, auf 4 weissglühend; bei der Stellung auf 5 zeigt die Lampe das intensive helle Glühen der Sonne und dann nimmt das Licht mit den noch folgenden drei Schritten rasch weiter zu. Die verschiedenen, die beste Wirkung gebenden Widerstände sind durch Versuche ermittelt worden.

Wird durch diesen Umschalter die Lampe gelöscht, so bleibt die Stromstärke bei der Erhitzung eines gleichwertigen

künstlichen Widerstandes dieselbe und werden daher die übrigen Lampen in demselben Stromkreise nicht berührt.[1])

Soll dieses auch bei Anwendung gewöhnlicher Umschalter geschehen, so muss

115. Die Regulirung des Stromes in anderer Weise erfolgen, etwa durch Veränderung der Tourenzahl, des äusseren Widerstandes oder aber der elektromotorischen Kraft. Es würde jedoch schwierig sein, die Tourenzahl so abändern zu wollen, dass bei verschiedener Anzahl der Lampen in demselben Stromkreise jede Lampe gleiche Lichtstärke haben sollte. Leichter ist es schon, den äusseren Widerstand bei der Zu- und Abnahme des Stromes, welche bei dem Erlöschen bezw. Anzünden einer Lampe erfolgt, entsprechend zu vermehren bez. zu vermindern. Dieses kann durch den Maschinisten geschehen, der in diesem Falle durch einen sogenannten Indicator, d. h. einen Strommesser, welcher die zulässige maximale oder minimale Stromstärke avisirt, benachrichtigt werden müsste;[2]) zweckmässiger und vortheilhafter ist aber, die Regulirung durch den Strom selbst treffen zu lassen. Dieses Princip verfolgten *Dr. C. W. Siemens* in London[3]) sowie *Sawyer*[4]) bei der Verfertigung ihrer Regulatoren für elektrische Ströme, durch welche nach Bedarf künstliche Widerstände in den Stromkreis automatisch ein- und ausgeschaltet werden, so dass die Stromstärke stets dieselbe bleibt. Wesentlich anders verfährt *Hiram Maxim*, welcher zeigte, wie in den Fällen, dass das Magnetfeld der Lichtmaschine durch eine besondere Dynamo-Maschine erregt wird, die elektromotorische Kraft abgeändert, die Stromstärke der zu leistenden Arbeit angepasst

---

[1]) Siehe die bei der *Jablochkoff*'schen Beleuchtung verwandten Umschalter, p. 539 und 540.

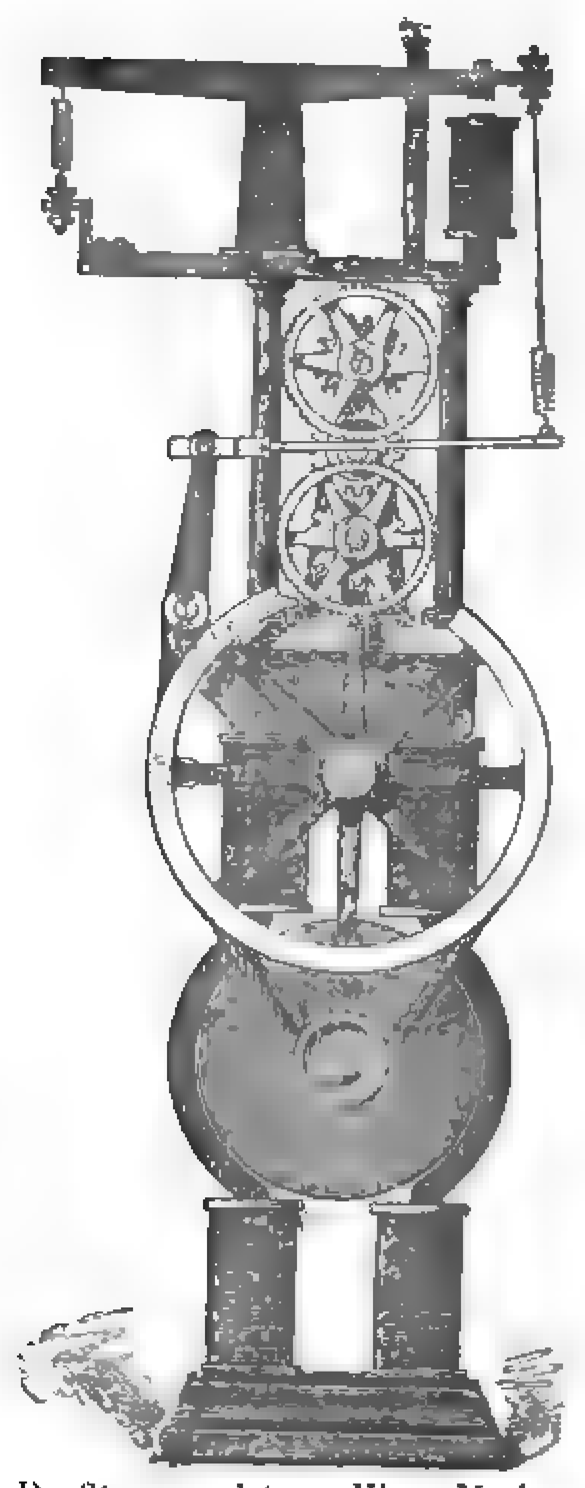
[2]) Z. f. a. E. 1881, p. 205.

[3]) Vgl. Z. f. a. E. 1879, p. 335.

[4]) Electric Lighting by Incandescence. *Sawyer*, p. 142.

werden kann. Es ist klar, dass die Lichtmaschine einen starken bezw. schwachen Strom erzeugen wird, je nachdem unter sonst gleichen Umständen ihre Magnetfelder stark bezw. schwach erregt werden. Der Grad der Erregung hängt aber von der Stromstärke der Hülfsmaschine ab; damit nun von dieser verschieden starke Ströme abgeleitet werden, sind ihre Collector-Bürsten an einem Träger befestigt, mit welchem die Bürsten sich concentrisch zu dem Collector-Cylinder bewegen können. In der einen Grenzlage liefern die Bürsten gar keinen Strom, in der andern einen Strom grösster Stärke und in den Zwischenlagen einen Strom, dessen Stärke zwischen den erwähnten Grenzen liegt. Diese Stärke beeinflusst also diejenige des Stromes der Lichtmaschine. Dieser aber wirkt auf den Stromregulator (Fig. 194), indem er durch den Elektromagnet desselben fliesst und diesen nach seiner Stärke bald stark bald schwach erregt: dem entsprechend senkt oder hebt der Elektromagnet mittelst seines zwischen zwei Stellschrauben auf- und niedergehenden Ankerhebels eine Schiebklaue und bringt diese zum Eingriff mit dem unteren bezw. dem oberen von zwei

Fig. 194.



Der Stromregulator v. Hisam Maxim.
(Vgl. Fig. 104.)

Schiebrädern. Die Schiebklaue wird von einer oscillirenden Stange hin- und herbewegt, welche von einer kleinen Kurbel geführt wird, die selbst durch die Achse des Erregers eine verhältnissmässig langsam rotirende Bewegung erhält. Greift also die Schiebklaue in ein Schiebrad ein, so überträgt dieses bei der erfolgenden schrittweisen Drehung ihre Bewegung (Fig. 104) auf eine horizontale Achse, von welcher sie durch ein Paar Kegelräder auf den Bürstenträger der erregenden Maschine fortgepflanzt wird. Letzterer wird demnach in der einen oder anderen Richtung gedreht, wenn der lichtgebende Strom zu stark oder zu schwach, der Anker des Elektromagnets am Regulator mehr oder weniger abwärts gezogen und demnach das untere oder das obere Schiebrad gedreht wird; damit wird auch zunächst der erregende und weiter auch der lichterzeugende Strom geschwächt oder gestärkt. *Maxim* wandte den Regulator bei den von ihm erdachten Glühlampen an; 64 derselben wurden in denselben Stromkreis eingeschaltet und nach und nach bis auf eine ausgeschaltet; der Regulator glich die Stromstärke-Aenderung vollkommen aus, so dass das Glühlicht einer Lampe stets dieselbe Lichtstärke hatte.

Der *Maxim*'sche Regulator fand auf der elektrischen Ausstellung zu Paris 1881 allgemeine Anerkennung; dort bewährte er sich auf eine glänzende Weise, und man darf daher wohl erwarten, dass derselbe bei der elektrischen Beleuchtung nicht nur mittelst der Glühlicht-, sondern auch der übrigen Lampen mehr in Gebrauch kommen wird.

Ist man in der Lage, einen sehr starken Strom gebrauchen zu müssen, während nur kleinere Maschinen für schwache Ströme zur Disposition stehen, so kann man mehrere Maschinen miteinander verkuppeln. Die

116. Verbindung der Maschinen kann verschieden erfolgen. Dieselben können hinter- und nebeneinander zu einem gemeinschaftlichen Stromkreise verbunden werden; man wird die

eine oder andere Art der Schaltung wählen, je nachdem man Intensitäts- oder Quantitäts-Ströme zu schaffen beabsichtigt. Verbindet man die Maschinen auf Spannung, so treten absolut keine Schwierigkeiten auf; anders aber, wenn Maschinen auf Quantität verbunden werden, wo störende Einflüsse auftreten. Sobald die Maschinen nämlich ungleiche elektromotorische Kraft haben, kann der Strom der stärkeren Maschine theilweise in die andere Maschine übergehen, so dass nicht nur keine Verstärkung des Stromes, sondern sogar eine Schwächung des einen, des stärkeren Stromes eintritt. Bei magnetelektrischen Maschinen verbleibt es bei diesem Nachtheile; viel erheblicher ist aber der störende Einfluss bei dynamoelektrischen Maschinen, da bei diesen durch die Schwächung des einen Theilstromes auch die Elektromagnete schwächer erregt werden und dadurch die Einzelströme selbst schwächer ausfallen als dann, wenn die Maschinen nicht verbunden sind.

Burstyn hat diesen Fall mit *Gramme*'schen Maschinen genauer untersucht und gelangte zu folgenden Resultaten:[1])

„In Figur 195 sind zwei Maschinen, I und II, neben einander geschaltet schematisch dargestellt. Darin stellen J_1 und J_2 die Inductoren in einfachster Weise dar. C_1 und C_2 sind die Collectoren, B_1, B'_1 und B_2, B'_2 die Bürsten, P_1, N_1 und P_2, N_2 die positiven und negativen Polklemmen, E_1 und E_2 die gesammten Leitungen um die fixen Elektromagnete der betreffenden Maschine, während L die in den Stromkreis beider Maschinen eingeschaltete Lampe darstellt. Die auf den Leitungen gezeichneten Pfeile zeigen die Richtung des Stromes an. Bei a fliessen die Ströme beider Maschinen durch die Leitung $a\,c$ zur Lampe und finden über $d\,b$ ihren weiteren Schluss in den Maschinen. Der Stromweg ist durch folgendes Schema dargestellt:

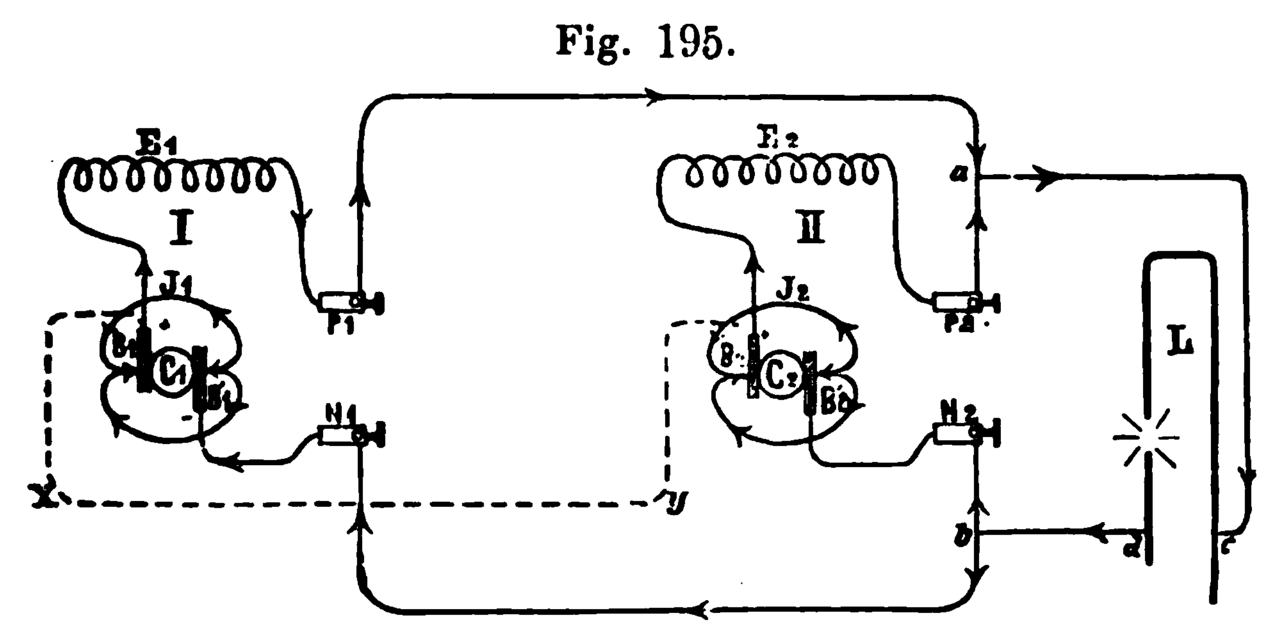
$$\begin{matrix} + B_1\,E_1\,P_1 \\ + B_2\,E_2\,P_2 \end{matrix} > a\;c,\ \text{Lampe},\ d\;b < \begin{matrix} N_1\,B'_1\ - \\ N_2\,B'_2\ - \end{matrix}$$

Es fliesst demnach durch die Lampe ein Strom, welcher der elektromotorischen Kraft einer Maschine und dem Widerstande entspricht, welcher in der Kabelleitung sammt Lampe und in den zu einer parallel geschalteten Leitung vereinigten Drahtwindungen beider Maschinen repräsentirt ist.

[1]) Vgl. Z. f. a. E. 1881, p. 339: Schaltung zweier dynamo-elektrischer Maschinen zu gemeinschaftlichem Stromkreise von *M. Burstyn*.

Sind die elektromotorischen Kräfte beider Maschinen gleich gross, so wird immer, so gross auch der Widerstand in der Lampe werden mag, der Strom beider Maschinen ganz durch den gemeinschaftlichen Weg (die Lampe) fliessen, ohne dass bei a ein Theil desselben in der einen oder anderen Richtung (nämlich P_1 E_1 B_1 oder P_2 E_2 B_2) überträte und einen der beiden Elektromotoren in entgegengesetztem Sinne durchfliesse, als es die in ihm thätige elektromotorische Kraft fordert. Bei gänzlicher Unterbrechung der Leitung in L wird — gleich grosse elektromotorische Kräfte vorausgesetzt — der Schliessungskreis der Maschinen auch bei fortgesetztem Betriebe derselben stromlos sein.

Fig. 195.



Die Schaltung zweier Maschinen auf Quantität.

Sind jedoch die elektromotorischen Kräfte beider Maschinen nicht gleich gross, so wird, wenn der Widerstand in der Lampe über eine gewisse Grenze gewachsen ist, der Strom der stärkeren Maschine bei a zum Theile in die schwächere Maschine übertreten und ihre Leitungen in entgegengesetztem Sinne durchfliessen. Vollends findet dies Statt, wenn die Leitung in L durch Erlöschen der Lampe unterbrochen wird, die Maschinen aber weiter betrieben werden. In diesem Falle wird diejenige Maschine, welche die geringere elektromotorische Kraft besitzt, von einem entgegengesetzt gerichteten Strome durchflossen werden, welcher der Differenz der elektromotorischen Kräfte und dem Widerstande im gesammten Stromkreise entspricht.

Ist dieser Differenzstrom halbwegs kräftig, so werden die Elektromagnete der betreffenden schwächeren Maschine umpolarisirt. Dadurch wird aber der nunmehr in ihr erzeugte Strom entgegengesetzt, d. h. so gerichtet werden, wie es der Strom der anderen Maschine ist, und durch die Leitungen wird jetzt ein Strom fliessen, welcher der Summe der elektromotorischen Kräfte beider Maschinen entspricht.

Die Maschinen sind jetzt eben hinter einander geschaltet, da die Pole der schwächeren Maschine umgekehrt wurden.

Werden die Maschinen weiter in Betrieb erhalten, so ist Gefahr für Erhitzung derselben vorhanden, denn sie erscheinen jetzt kurz geschlossen, und die Stromstärke in den eigenen Leitungen der Maschinen wächst zu enormer Grösse an.[1]) Die Lampe repräsentirt jetzt eine Zweigschaltung, und es wird durch dieselbe, wenn sie geschlossen wird, nur jener Theil des gesammten Stromes fliessen, welcher sich nach den Gesetzen der Stromtheilung aus dem Verhältnisse der Widerstände in den beiden Stromzweigen ergibt. In der Regel ist dieser Stromtheil sehr gering, und man wird ein schwaches oder gar kein Licht erhalten. Zur Erreichung der normalen Lichtstärke würde man die Kabel an der umpolarisirten Maschine im Sinne der geänderten Polarität verkehrt anlegen müssen."

Dass die eben angeführten Erscheinungen eintreten können, beweist *Burstyn* auf sehr exacte Weise, auf die nur hingewiesen werden kann.[2])

Da es kaum möglich ist, zwei Maschinen von vollkommen gleicher elektromotorischer Kraft zu bauen, so werden die hier angeführten Störungen immer in höherem oder geringerem Grade auftreten, so oft zwei Maschinen neben einander zu gemeinschaftlichem Stromkreise geschaltet werden, da die Ursachen, welche sie herbeiführen, nicht zu vermeiden sind.

Gramme hat nun bei seinen Maschinen diesem Uebelstande in folgender, einfacher Weise abgeholfen. Bei allen Maschinen, welche für gemeinschaftliche Schaltung gebaut sind, sind die Leitungen um die fixen Elektromagnete sämmtlich von einer Bürste ausgeführt, während die zweite Bürste nur durch einen kurzen Draht mit der betreffenden Polklemme direct verbunden ist. Die erstere Bürste ist überdies auch mit einer Klemmschraube kurz verbunden. Sollen nun zwei Maschinen neben einander in einen Stromkreis geschaltet werden, so werden die Bürsten beider Maschinen, von welchen aus die Leitungen zu den Elektromagneten führen, durch einen Draht von geringem Widerstande mit einander verbunden, indem man ihn an die oben erwähnten Bürsten, bez. an die mit ihnen verbundenen Klemmschrauben anlegt. Die Disposition ist in Fig. 195 durch die punktirte Linie xy angedeutet. Die Bürsten B_1 und B_2 der beiden Maschinen sind also einmal über die Elektromagnete und ein andermal durch die kurze Leitung mit einander verbunden.

Tritt nun die Bedingung ein, dass z. B. ein Strom von Maschine I nach II übergehen soll, so theilt er sich zwischen B_1 und B_2 im

[1]) Nach einer ungefähren Rechnung und mit Zugrundelegung mittlerer Zahlen für die Widerstände fliesst in diesem Falle durch die Drahtwindungen der Maschine ein Strom, der $^{15}/_{8}$ der Stärke jenes Stromes besitzt, welcher durch die Maschinen bei regelrechter Schaltung derselben fliesst.

[2]) Z. f. a. E. 1881, p. 344.

umgekehrten Verhältnisse der Widerstände in den Zweigleitungen E_1, E_2 und xy, und da der Widerstand von xy verschwindend klein ist gegen den Widerstand der Magnetisirungsspiralen beider Maschinen, so wird durch letztere selbst im ungünstigsten Falle nur ein Strom von ganz minimaler Stärke fliessen, der ein Umpolarisiren der betreffenden Maschine nicht bewirken kann. Die Leitung xy wird stromlos sein, wenn die elektromotorischen Kräfte beider Maschinen gleich gross sind; sind dieselben verschieden gross und erreicht der Widerstand in der Lampe die früher definirte Grenze, so erfolgt der Ausgleich der entgegengesetzten elektrischen Drücke hauptsächlich durch diese kurze Leitung.

Man braucht also bei Kuppelung zweier *Gramme*'schen Maschinen nur dafür Sorge zu tragen, dass die entsprechenden Bürsten durch eine kurze Leitung mit einander verbunden werden, damit jeder störende Einfluss beseitigt werde.

XIII. Abtheilung.

Die elektrische Beleuchtung.

117. Einzel-Lichter oder getheiltes Licht. Es wurde bereits erwähnt, dass mit der Anzahl der in einen Stromkreis geschalteten Lampen die Lichtstärke einer jeden Lampe wechselt, wenn die Lichtmaschine in gleicher Weise zu arbeiten fortfährt. Dabei zeigt sich, dass unter sonst gleichen Bedingungen die Summe der Lichtintensitäten mehrerer von dem Strome gespeister Lampen nicht einmal die Intensität einer einzelnen, in denselben Stromkreis geschalteten Lampe (eines Einzel-Lichtes) erreicht. Dieses erklärt sich dadurch, dass eine jede Lampe, welches auch ihre Construction sein mag, einen bestimmten, in ihrer Einrichtung liegenden inneren Widerstand hat, der zu dem Widerstande des Lichtbogens hinzukommt, und dass dieser eine elektromotorische Kraft (§. 66) entwickelt, welche der elektromotorischen Kraft der Lichtmaschine entgegenwirkt und gegen dieselbe in keinem Falle vernachlässigt werden darf.

Ein einfaches Beispiel möge dieses erläutern. Gesetzt, die Stärke eines Stromes sei S, wenn derselbe ein Einzellicht zu speisen hat und dieses den Gesammtwiderstand w leistet; da die in der Lampe durch den Strom erzeugte Wärme nach *Joule* $w S^2$ ist und näherungsweise als Maass der Lichtstärke der Lampe gelten kann,[1]) so ist die letztere

---

[1]) Vgl. Abth. 17.

proportional $w S^2$ zu setzen. Werden aber in denselben Stromkreis n Lampen geschaltet, welche einzeln den Gesammtwiderstand w leisten, so ist nach dem *Ohm*'schen Gesetze die Stromstärke nur noch $= \frac{S}{n}$, die in einer einzelnen Lampe gebildete Wärme also $= w \left(\frac{S}{n}\right)^2$ und die in den n Lampen gebildete Wärme $= n \cdot w \cdot \left(\frac{S}{n}\right)^2 = w S^2 \cdot \frac{1}{n}$. Diese Grösse stellt dem Obigen gemäss die Stärke des getheilten Lichtes dar und zeigt also, dass die letztere nur den $n$ten Theil der Stärke des Einzel-Lichtes im vorliegenden Falle beträgt.

Soll die Stärke des getheilten Lichtes gleich der des Einzel-Lichtes werden, so muss der ursprünglich gegebene Strom (S) verstärkt werden; bezeichnen wir etwa mit x die hierzu erforderliche höhere Stromstärke, so muss

$$w x^2 \cdot \frac{1}{n} = w S^2, \text{ also } x = S \sqrt{n}$$

sein; 4, 9, 16... Lampen müssen daher durch einen 2-, 3-, 4-...mal stärkeren Strom gespeist werden, wenn sie zusammen die Lichtstärke des Einzel-Lichtes erreichen sollen.

Es kann nicht geleugnet werden, dass hierin ein nicht zu unterschätzender Vortheil der Einzel-Lichter vor getheiltem Lichte liegt, welcher jedoch nicht in allen Fällen ausgenutzt werden kann, da bei der gewöhnlichen Beleuchtung eine günstige und bequeme Befestigung der Lampen, sowie eine bestimmte Bodenbeleuchtung von Wichtigkeit sind. Soll die letztere, ohne dass der Betrieb der Lichtmaschine geändert wird, das eine Mal bei getheiltem Lichte, etwa durch n in die Leitung hinter einander geschaltete Lampen, ein anderes Mal durch ein Einzel-Licht erzielt werden, so muss dieses, weil n^2 mal stärker als jedes der getheilten Lichter, entsprechend höher gehängt werden — und zwar, da die Leuchtkraft des Lichtes mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt,

n mal höher. Hierzu fehlt es aber meistens an Höhenraum — oder aber, wenn dieses nicht der Fall ist, die Lichter werden zu unzugänglich. Gestattet der Raum es aber, von Einzel-Lichtern Gebrauch zu machen, so können dieselben nur empfohlen werden.

Zunächst sind die Ströme geringer Spannung, mit denen dieselben gespeist werden können, geradezu ungefährlich, während Ströme höherer Spannung mehr oder weniger eine aufmerksame Behandlung erfordern, auf dass keine Unglücksfälle sich ereignen; sodann wird durch die bedeutende Höhe, in welcher die Lampe hängt, der Lichtbogen unserem Auge ziemlich fern gerückt und daher der Gebrauch matter Glasglocken beseitigt, welche zwar das intensive Licht des Bogens unserm Auge erträglich machen, dabei aber eine Menge Lichtes absorbiren; auch ist die Farbe des Einzel-Lichtes eine bei weitem weissere, der des Sonnenlichtes entsprechendere, während das getheilte Licht mehr oder weniger ein bläuliches, mondscheinähnliches ist. Mit Recht konnte zur Zeit *Crompton* sagen: „Die Einzel-Lichter, welche von Strömen geringer Spannung gespeist werden, sind sehr schön und rein in Farbe, entweder ganz weiss oder schwach gelblich, wie Sonnenlicht. Das Licht ist kräftig und milde und durchdringt Nebel und dichte Atmosphäre leicht; die Farben erscheinen bei diesem Lichte gerade so wie bei dem Sonnenlichte. In der That wird der grösste Theil des Lichtes von der glühenden sonnengleichen Oberfläche der oberen concaven Kohle gegeben und nur wenig von dem Bogen. So wie man die Spannung vermehrt und die Quantität vermindert, gewinnt der Strom die Fähigkeit, mehrere Lichter zu speisen; aber die Farbe des Lichtes bleibt nicht so gut wie vorher. Es wird weniger Licht von den glühenden Kohlenspitzen als dem Bogen hervorgebracht, welch' letzterer häufig unangenehme violette, blaue und grüne Farbentöne hervorbringt. Sodann verbleibt der Bogen auch nicht

immer an den beiden einander nächsten Puncten der Kohlen, sondern er geht von entfernteren Puncten der kegelförmigen Oberfläche der Kohlen aus. Deshalb ist die Lichtintensität auf verschiedenen Seiten häufig ungleich; auch ist dies der Grund des Zuckens und der Unbeständigkeit des Lichtes; mit zunehmender Spannung wachsen alle die Mängel. Wenn man grosse Räume zu beleuchten hat, in welchen man die Lampen hoch aufhängen kann, und wenn man ein ruhiges Licht von schöner Färbung braucht, so sollte man stets niedrig gespannte Ströme und Einzel-Lichter gebrauchen."

In der That muss es als ein Missstand bei vielen Nebenschluss- und Differential-Lampen bezeichnet werden, dass sie, um richtig functioniren zu können, einen sehr intensiven, elektrischen Strom erfordern, durch den das Licht etwas gefärbt wird. Auch ist bei vielen Lampen der complicirte Mechanismus vielfach Störungen ausgesetzt und bedingt eine viel sorgfältigere Behandlung als ein einfacher Mechanismus. Diesen Uebelständen suchte man in der letzten Zeit durch möglichste Vereinfachung des Mechanismus und durch Verbesserung der Kohlen abzuhelfen. Denken wir nur an das von *G. H. Möhring* vorgeführte System. Die Lampen sind sehr einfach; kein Uhrwerk, keine Räder, keine complicirten, einer Betriebsstörung ausgesetzten Mechanismen sind vorhanden. In Folge dessen brauchen dieselben weniger Betriebskraft, arbeiten sicher, sind weniger empfindlich in der Behandlung und vor allem ist das Licht, da kein intensiver Strom nöthig ist, nicht bläulich wie Mondschein, sondern rein, dem Sonnenlichte ähnlich, und wirkt selbst bei grösserer Mächtigkeit milde und angenehm. Gleiches ist von den sehr einfachen *Krizik*- und *Piette*'schen Lampen zu sagen.

Auch ist es den Herren *Siemens & Cie.* in Charlottenburg geglückt, nach einer neuen Methode Kohlenstäbe herzustellen, bei welchen grösste Ruhe des getheilten Lichtes erzielt wird. Beachten wir schliesslich, dass die Unkosten

getheilten Lichtes wegen bedeutender Ersparniss an Leitungsdrähten billiger, als diejenigen der Einzel-Lichter sein dürften, so finden wir erklärlich, dass nunmehr in den meisten Fällen der gewöhnlichen Beleuchtung von getheiltem Lichte ausgiebiger Gebrauch gemacht wird, während die meist starken Einzel-Lichter mit Erfolg nur noch zur Beleuchtung von Kuppeln, sehr hohen Räumen u. s. f. verwendet werden.

Betrachten wir indessen die

118. Anwendung der elektrischen Beleuchtung genauer und beginnen wir mit dem Gebrauche der Einzel-Lichter. Diese, besonders starke Einzel-Lichter, sind in einigen Fällen geradezu unentbehrlich geworden, z. B. bei dem Lichte eines Leuchtthurmes, bei der Aufstellung von Lichtern auf Kriegsschiffen zur Beleuchtung der entfernten feindlichen Schiffe und Küsten, zum Signalisiren auf der See und zu den verschiedenen militärischen Operationen, insbesondere bei Recognoscirungen und Belagerungsarbeiten. In allen diesen Fällen handelt es sich darum, die von dem Lichtbogen nach allen Richtungen hin sich ausbreitenden Strahlen nach einer bestimmten Richtung hinzulenken und so nur einen begrenzten Theil des Raumes unter einem Winkel von weniger als 180° zu beleuchten. Es gibt verschiedene Systeme von Reflectoren, welche zu diesen Zwecken construirt sind; während in ihnen die hinteren Strahlen durch parabolische Spiegel nach vorne reflectirt werden und sich mit denjenigen Strahlen vereinigen, welche direct die erforderliche Richtung haben, werden die nach oben und unten und seitwärts von dieser Richtung sich ausbreitenden Strahlen durch geeignete Linsen- oder primatisch geschliffene Glasgürtel aufgenommen und erhalten durch Brechung nach ihrem Austritte aus diesen Gläsern dieselbe Richtung, wie die übrigen Strahlen. Derartige Lichtcondensatoren geben eine bedeutende Verstärkung des Lichtes nach der einen Richtung hin und werden vielfach so construirt, dass sie von der Hand getragen werden oder

auf einem Stative drehbar aufgestellt sind, um den aus ihnen hervordringenden Lichtcylinder nach allen Richtungen des Raumes oder doch nach derjenigen Richtung hinlenken zu können, in welcher der zu beleuchtende Gegenstand sich befindet. Bei den Versuchen der verschiedenen Projectoren in Chatham erwies sich der Mangin-Projector sowohl in Bezug auf seine Leistung als mit Rücksicht auf seine geringe Zerbrechlichkeit allen anderen versuchten Projectoren weit überlegen. Erinnern wir daher in Kürze an seine Vorzüge. Projectoren mit Linsen sind kostspielig und absorbiren immerhin genug Licht; parabolische Reflectoren sind ohne Zweifel vorzuziehen, doch ist die parabolische Form sehr schwer herzustellen und intact zu erhalten; leichter ist die Herstellung der sphärischen Form, welche, wenn sich der Lichtpunkt genau in der Mitte des Radius der Kugel befindet, für's gewöhnliche ein hinlänglich dichtes Lichtbündel liefert. Doch ist bei ihr die sphärische Aberration zu gross, als dass sie in Fällen, wo concentrirte Lichtstrahlen auf weite Strecken gesandt werden sollen, anwendbar wäre. Gerügte Fehler vermeidet Mangin dadurch, dass er einen sphärischen Spiegel aus Glas verfertigt, welchen zwei nicht parallele sphärische Flächen begrenzen, die verschiedene Radien haben; das Verhältniss der beiden Radien ist so berechnet, dass die an der Spiegelfläche reflectirten Lichtstrahlen streng parallel zurückgeworfen werden. Dieses wird verständlich, sobald man beachtet, dass ein einzelner Lichtstrahl zweimal die Dicke des Spiegels passirt, bevor er seine Richtung erhält, — die einzelnen Lichtstrahlen aber verschiedene Dicken des Spiegels zu durchdringen haben, je nach dem Winkel, den sie mit der Achse bilden.

Es liegt in den optischen Eigenschaften der Hohlspiegel und der Glaslinsen, dass ihre Wirkung, das Licht zu concentriren, um so vollständiger erreicht wird, je mehr sich die Lichtquelle auf einen Punct concentrirt. Damit ein

Licht aus weiter Ferne gesehen werde, muss die Lampe, welche dasselbe erzeugt, nicht bloss ein äusserst intensives Licht geben, sondern dasselbe auch auf einen möglichst kleinen Umfang beschränken, und gerade diesen beiden Anforderungen entspricht der elektrische Flammenbogen in einer Regulatorlampe in hohem Grade. Das elektrische Licht ist daher für die Beleuchtung von Leuchtthürmen ganz besonders geeignet und findet zu diesem Zwecke an den französischen, englischen, russischen, österreichischen, schwedischen und ägyptischen Küsten vielfach Anwendung. Die Erfahrung hat gelehrt, dass das elektrische Licht des Leuchtthurmes von La Hève bei le Hâvre im Mittel um 8 km weiter sichtbar ist, als bei der früheren Oelbeleuchtung, und dass bei nebeligem Wetter das elektrische Licht mehr als doppelt so weit sichtbar ist, als das Oellicht. Die grossen Vorzüge, welche dieses Licht vor dem Lichte der Oellampe hat, und die neueren Verbesserungen in der Construction der Lichtmaschinen führen denn auch thatsächlich immer mehr dahin, dass die grösseren Leuchtthürme mit elektrischem Lichte gespeist werden.

Aehnliches gilt von der Anwendung dieses Lichtes zur Beleuchtung von Schiffen (vgl. u. a. Z. f. a. E. 1881, p. 277) und bei militärischen Operationen, da es mittelst desselben möglich ist, noch auf Entfernungen von 2 bis 6 km Schiffe, Küsten, Häuser, Erdwerke u. s. w. zu beleuchten. Auf den Schiffen wird dadurch die Sicherheit der Reisenden erhöht: Zusammenstösse werden vermieden, die Einfahrten in die Häfen erleichtert und die Arbeiten des Ein- und Ausladens auch zur Nachtzeit ermöglicht. Erwähnenswerth ist, dass bei den französischen Kriegsschiffen kein Regulator gebraucht wird, die Kohlenträger vielmehr ähnlich wie diejenigen der *Tchikoleff*'schen Lampe eingerichtet sind und durch ein einfaches Räderwerk mittels der Hand gerichtet werden. Beachtet man, dass bei einem Regulator selten jede Aufsicht

wegfällt, der Focus vielmehr sich vielfach ein wenig verschiebt und nur dadurch, dass man von Zeit zu Zeit an den Apparat klopft, an der richtigen Stelle erhalten wird, so konnte vom militärischen Standpuncte aus nichts Besseres angeordnet werden, als dass die Aufmerksamkeit der Bedienung eine dauernde wurde, dadurch dass jeder feine Mechanismus beseitigt und die Regulirung durch die Hand des Mannes bewirkt wurde. So kam auch die Commission in Chatham zu dem Schlusse, dass, wenn man für militärische Zwecke überhaupt automatische Lampen verwenden will, die *Serrin*-Lampe zu empfehlen sei, dass aber im Allgemeinen die geneigte Handlampe von *Sautter-Lemonnier* die günstigsten Resultate ergebe.

Für die militärischen Operationen haben *Siemens* sowohl wie *Gramme* die Lichtmaschine mit der Betriebswelle einer Locomobile zusammengebaut und dadurch das elektrische Licht mit dem zugehörigen Beleuchtungsapparate transportabel gemacht. Für militärische Signalzwecke baut *Gramme* eine sehr kleine Maschine, die, durch vier Mann in Bewegung gesetzt, ein Licht von ungefähr 50 Carcel-Brennern erzeugt. Sie hat flache Elektromagnete und steht auf einem Karren. Zu demselben Zwecke eignet sich auch die *Siemens*'sche magnet-elektrische Maschine, wenn sie von vier Mann mittelst zweier Kurbeln und einer Zahnrad-Uebersetzung (Fig. 94) angetrieben wird.

Mit Einzel-Lichtern werden die elektrischen Beleuchtungswagen versehen, welche die zum Betriebe einer elektrischen Flamme erforderliche Ausrüstung enthalten, damit solche zu jeder Zeit im Falle dringender nächtlicher Arbeit, z. B. bei Bahnunfällen, Truppentransporten an eine beliebige Stelle der Bahnstrecke gebracht werden können, ohne dass vorher Installationsarbeiten erforderlich wären.[1])

[1]) Vgl. *Dingler's* P. J., Bd. 232, p. 133, Bd. 233, p. 212. Z. f. a. E. 1879, p. 331, 1881, p. 222.

Solch' mobiles elektrisches Licht eignet sich auch zur Tunnelbeleuchtung. In einem langen Tunnel ist von vornherein jede Beleuchtungsmethode auszuschliessen, welche der mit grossen Kosten in den Tunnel eingeführten Luft einen grossen Theil entziehen würde; in ihm ist vielmehr eine besonders construirte Beleuchtungs-Locomotive erforderlich, welche an der Anfangs- und Ende-Station des Tunnels comprimirte Luft in sich aufnimmt, um hierdurch einestheils ihre eigene Fortbewegung zu erhalten, anderntheils aber die treibende Kraft für die auf ihr befindliche dyamno-elektrische Maschine zu gewinnen, welch' letztere die elektrischen Ströme für die auf der Beleuchtungs-Locomotive feststehende und mit Reflectoren versehene Lampe erzeugt.[1])

Vortreffliche Dienste leistet ferner eine elektrische Lampe bei Taucher- und anderen unterseeischen Arbeiten, bei welchen kaum ein anderes Licht zur Anwendung kommen kann. Die Lampe wird zu diesem Zwecke in einen Ballon von starkem Glas eingeschlossen, aus welchem die Luft ausgepumpt wird.

Einzel-Lichter eignen sich schliesslich vielfach zur Beleuchtung freier Arbeitsplätze und grösserer Arbeitsräume, z. B. einer Spinnerei, Weberei, eines Walzwerkes u. s. w. In dieser Beziehung liegen bereits zahlreiche Erfahrungen vor, die so günstig sind, dass die Zahl der von den verschiedenen Constructeuren gebauten Lichtmaschinen täglich zunimmt. Bei richtiger Aufstellung des Lichtes kann man in einer Spinnerei, einer Buchdruckerei, einer Weberei u. s. w., wo eine grössere Helligkeit erforderlich ist, mit einem einzigen Lichte eine Fläche von 250qm, in einer Maschinenfabrik 500qm und auf einem offenen Arbeitsplatze 2000qm gut beleuchten. Dass man dabei den Glanz des Lichtes dämpfen und überhaupt dasselbe durch vorgestellte, matt geschliffene Glastafeln oder Glaskugeln zerstreuen muss, braucht wohl

---

[1]) Vgl. Z. f. a. E. 1880, p. 347, 303. 1881, p. 223.

nicht erwähnt zu werden. Um starke Schatten zu vermeiden, und eine grössere Gleichmässigkeit in der Helligkeit herzustellen, stellt man zweckmässig in demselben Raume zwei Lampen auf, auch wenn dieses nicht durch die Grösse des Raumes geboten wäre. Bei allen Einrichtungen dieser Art ist in erster Linie darauf zu sehen, dass nicht ein grosser Theil des Lichtes durch Ausstrahlen nach aussen nutzlos verloren geht. Man kann oft genug sehen, wie in grossen industriellen Anlagen, welche nach oben und nach den Seiten mit grossen Glasdächern und Fenstern versehen sind, um das Tageslicht eindringen zu lassen, zur Nachtzeit die elektrischen Strahlen denselben Weg nach aussen nehmen und die benachbarten Wandflächen und die anstossenden Höfe sehr hell erleuchten. Alle diese Strahlen, die oft mehr als die Hälfte des elektrischen Lichtes ausmachen, gehen für die beabsichtigte Beleuchtung des Fabrikraumes nutzlos verloren. Hier handelt es sich daher in erster Linie darum, alle von der elektrischen Lampe ausgehenden, insbesondere die nach oben gerichteten Strahlen durch geeignete Reflectoren in den Arbeitsräumen zusammenzuhalten und dieselben statt auf die Glasfenster auf die undurchsichtigen weissen Flächen, die Plafonds und die Mauern zu leiten, damit sie von diesen nach allen Richtungen zurückgeworfen werden und ein zerstreutes Licht erzeugen, welches trotz seiner grossen Helligkeit doch für das Auge angenehm ist.

Fontaine verbreitet sich in seiner oben angeführten Schrift ausführlich über die verschiedenen Installationsweisen der elektrischen Lampen für die Zwecke der Beleuchtung von Fabriklocalen jeder Art[1]) und von offenen Arbeitsräumen, Hafenplätzen, Bahnhöfen u. s. w. Es geht hieraus hervor, dass diese Anwendung des elektrischen Lichtes bereits alle Stadien des Versuches durchlaufen hat, und dass gegenwärtig

---

[1]) Vgl. *Dingler's* P. J., Bd. 233, p. 304.

zahlreiche Erfahrungs-Resultate vorliegen, welche bei weiteren Einrichtungen dieser Art in jedem einzelnen Falle zu Grunde gelegt werden können.

Doch hat sich bereits in Fällen, in denen mehrere Lampen gebraucht werden, das getheilte Licht mit Recht Eingang verschafft, ja seitdem die Differential-Lampen erfunden, hat die Beleuchtung mittelst getheilten Lichtes gewaltig an Ausbreitung gewonnen. Da dieses bis zu einem gewissen Grade von beträchtlicher Stärke gewonnen werden kann, so fragt sich nur, wie weit man in der Theilung elektrischen Lichtes gehen soll; diese Frage muss natürlich in jedem besonderen Falle mit Berücksichtigung der Bauart, des zu beleuchtenden Raumes, des Zweckes, dem der Raum dient, sowie der entstehenden Unkosten beantwortet werden.[1]) Neben vielen industriellen Etablissements und Privatgebäuden, in welchen das elektrische Licht eingeführt wurde, waren es zuvörderst die Bahnverwaltungen, welche die Vortheile, die diese Beleuchtungsart nach Einführung der Differential-Lampe bot, für sich nutzbar machten und in ausgedehnterem Maasse namentlich zur Erleuchtung der Empfangshallen schritten. Unter den zahlreichen, nach dem Vortritte des neuen Münchener Bahnhofes von der Firma *Siemens & Halske* ausgeführten Anlagen bietet diejenige, welche in der imposanten Empfangshalle des neuen Anhalter Bahnhofes eingerichtet wurde und seit dem Juni vorigen Jahres im Betriebe ist, ein besonderes Interesse, und es möge dieselbe hier als ein Beispiel einer solchen Einrichtung vorgeführt werden.

Die ein Hektar, beinahe vier preussische Morgen, Bodenfläche überdeckende Halle, von deren riesigen Abmessungen der Beschauer Mangels eines geeigneten Maassstabes kaum sich einen rechten Begriff machen kann (die Spannweite des Daches beträgt 60, die Länge 168 und die Höhe 35m),

[1]) Vgl. E. Z. 1880, p. 80 und ff.

ist mit 24 Differential-Lampen von je 350 Normalkerzen Lichtstärke, welche in etwa 8 m Höhe vom Boden angebracht sind, erleuchtet, und es sind die Perrons in allen Theilen so hell erleuchtet, dass man auch an den dunkelsten Stellen feinste Druckschrift gut lesen kann. Man hatte zuvörderst auch Versuche angestellt, die Halle mit weniger entsprechend höher hängenden Lampen von bedeutenderer Lichtstärke zu erleuchten, fand aber, dass bei weitergeführter Theilung des Lichtes eine erheblich günstigere Wirkung erzielt wurde.

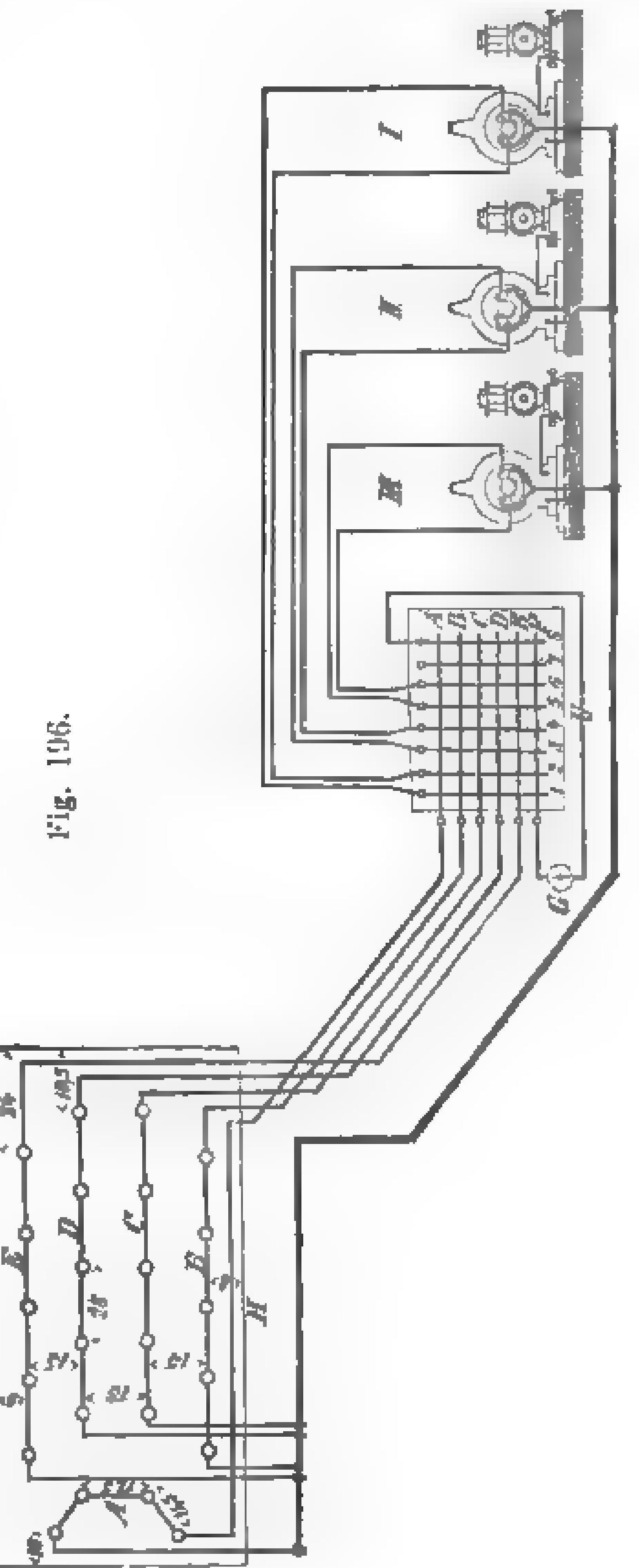


Fig. 196.

Die Einrichtung ist, wie in Fig. 196 schematisch dargestellt, derart getroffen, dass die 24 elektrischen Lichter in fünf Gruppen über die Halle *H*, welche durch das Rechteck linker Hand angedeutet ist, vertheilt sind. Jede dieser Gruppen kann sowohl einzeln, wie auch in Verbindung mit den anderen in Thätigkeit gesetzt werden. Ueber dem vorderen, querliegenden

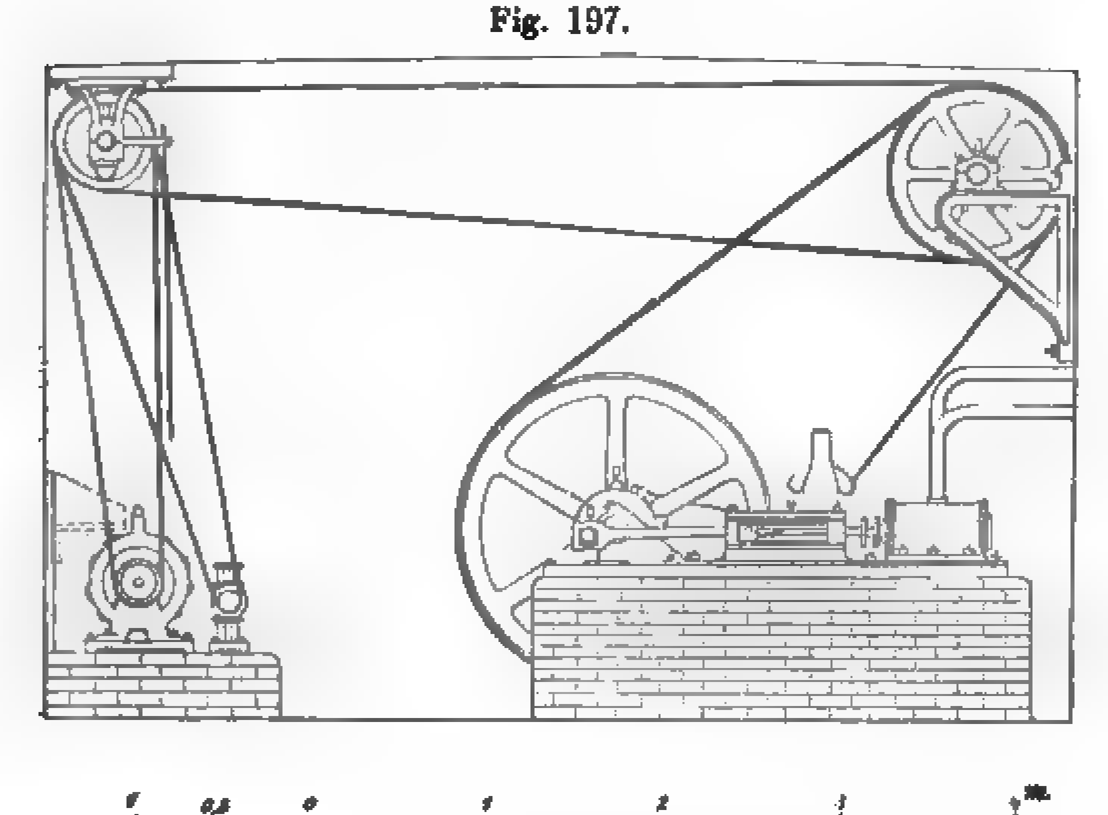
Zugangsperron hängt die Gruppe *A* aus vier, ein Trapez bildenden Lichtern; sodann sind der Halle entlang vier Parallelreihen *B*, *C*, *D* und *E* von je fünf Lampen angeordnet, welche die Ankunfts- und Abfahrtsperrons erleuchten. Während erstere Gruppe stets leuchtet, wird eine oder werden mehrere der letzteren vier nach Bedürfniss angezündet.

Zur Stromerzeugung dienen drei Paare von elektrischen Maschinen I, II und III, welche in dem unweit der Halle gelegenen Maschinenhause aufgestellt sind. Jedes derselben besteht aus einer kleineren primären, dynamo-elektrischen Maschine, welche einen gleichgerichteten Strom erzeugt, der in der sekundären, grösseren Maschine kräftige Elektro-Magnete erregt. Zwischen diesen Elektro-Magneten der sekundären Maschine rotirt ein Ring mit Drahtspulen ohne Eisenkern, in welchen hierbei Wechselströme entstehen, die, zu den Lampen geführt, dort das Licht erzeugen. Jede dieser Maschinen ist dazu eingerichtet, zwei getrennte Stromkreise, deren jeder fünf Lampen enthält, unabhängig von einander zu speisen. Durch das Einsetzen von Stöpseln in den angebrachten General-Umschalter *U*, an dessen eine Schienenreihe die aus der Halle kommenden Leitungen geführt sind, während die kreuzende Reihe mit den nach den Maschinen geleiteten Drähten verbunden ist, ist man in der Lage, eine beliebige Verbindung zwischen jedem Stromkreise einer Maschine und jeder Lampengruppe herzustellen. Die Leitungen sind oberirdisch geführt und bestehen aus kräftigen Kupferdrähten, welche auf Porcellanglocken isolirt sind. Zur Rückleitung ist eine gemeinsame Erdleitung, welche in einen vorhandenen unterirdischen Kanal versenkt wurde, benutzt.

Obwohl die Differential-Lampen sich selbstverständlich auch durch continuirliche Ströme betreiben lassen, so wurde doch für die vorliegende Anlage, in Anbetracht gewisser guter Eigenschaften, welche die *Siemens & Halske*'schen

Wechselstrom-Maschinen besitzen, der Betrieb durch Wechselströme vorgezogen. Als solche Eigenschaften sind hervorzuheben: der Wegfall des Commutators, die Unempfindlichkeit gegen Schwankungen im äusseren Widerstande, das Vorhandensein mehrerer von einander unabhängiger Stromkreise, endlich ihre Dauerhaftigkeit und der ökonomische Betrieb. Beim Ansehen des Lichtes sind die einzelnen Wechsel

Fig. 197.



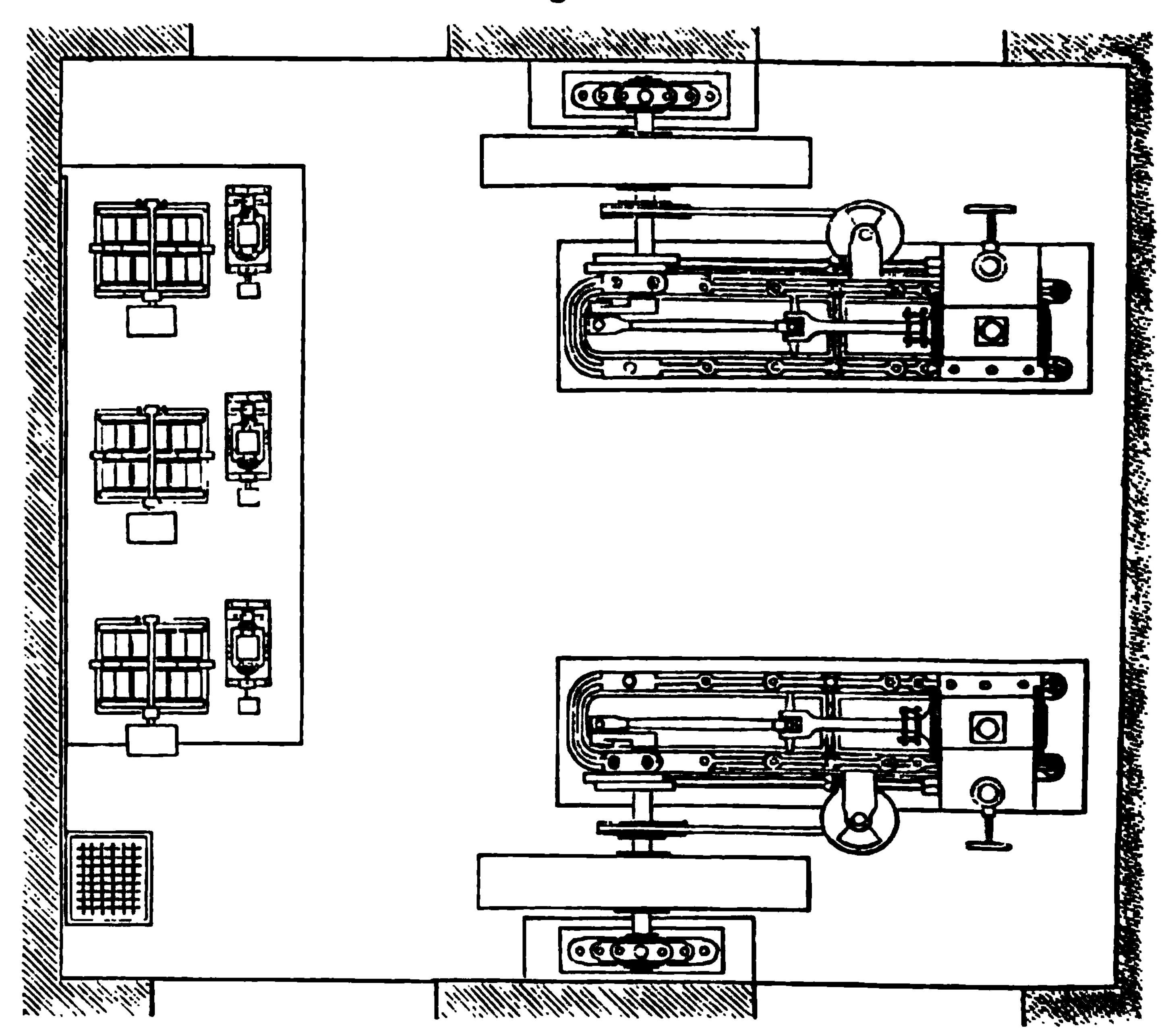
des Stromes absolut nicht bemerkbar, da dieselben so ausserordentlich schnell (120 Mal in der Sekunde) auf einander folgen.

Zum Betriebe der elektrischen Maschinen dienen zwei von *A. Borsig* angefertigte liegende Hochdruck-Dampfmaschinen von je 15 Pferdekräften. Fig. 197 und 198 stellen die Anordnung der Maschinen-Anlage im Grundrisse und im Querschnitte dar.

Die Einrichtung ist derart getroffen, dass jedes der drei elektrischen Maschinenpaare von einer oder der anderen der Betriebsmaschinen in Thätigkeit gesetzt werden kann. Mittelst Frictionsscheiben-Kuppelung kann jede derselben mit einer

Zwischen-Transmissionswelle verbunden werden, welche ihrerseits drei Vorgelege treibt, an welche die Maschinenpaare angeschlossen sind, und die einzeln ausgerückt werden können. Jedes Maschinenpaar wird von einer gemeinsamen Riemenscheibe, welche an einem dieser Vorgelege sitzt, mittelst zweier auf derselben laufenden Riemen getrieben.

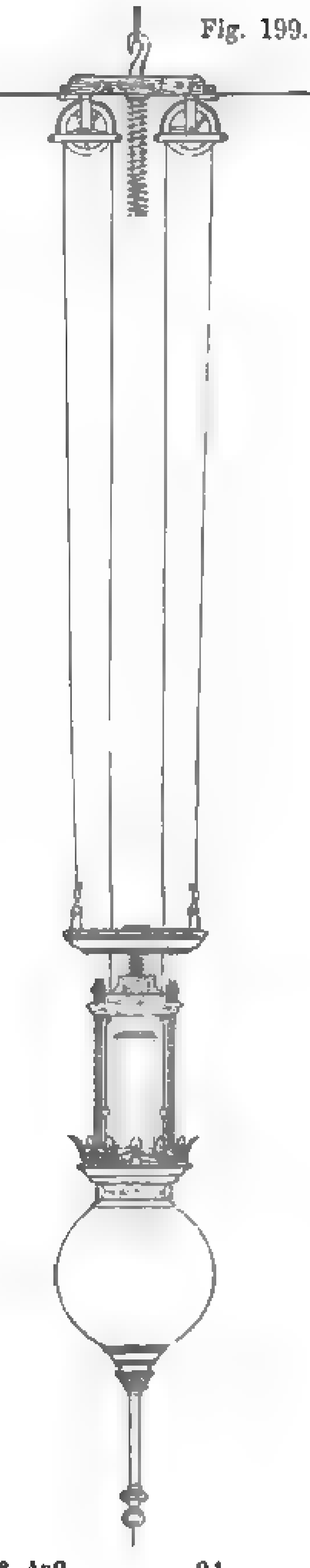
Fig. 198.



Die gewählte Aufstellung der Maschinen war durch den vorhandenen ziemlich engen Raum bedingt. Bei den neueren Anlagen ziehen es *Siemens & Halske* vor, jedes elektrische Maschinenpaar durch eine besondere Dampfmaschine zu betreiben. Die Möglichkeit, jeden Stromerzeuger mit jeder Dampfmaschine beliebig verkuppeln zu können, ist dabei aufgegeben, aber die theuren Transmissions-Anlagen und die vielen Riemen, welche die meiste Beaufsichtigung erfordern, sind in Wegfall gebracht.

Die elektrischen Lampen sind am Gitterwerke der Dachconstruction aufgehängt. Bei der bedeutenden Höhe der Halle würde es unzweckmässig gewesen sein, die Vorrichtung zum Herablassen der Lampen, welches beim Einsetzen neuer Kohlenstäbe nach je acht Stunden verflossener Brennzeit erfolgen muss, in der Höhe anzubringen, dieselbe wurde daher unmittelbar über die Lampen gelegt. In Fig. 199 ist diese Einrichtung abgebildet. Von dem Dache herab hängt ein Drahtseil, welches die Vorrichtung trägt. Eine einfache, auf der Galerie in der Höhe angebrachte Winde ermöglicht für den Fall, wenn Reparaturen nothwendig sind, das Drahtseil herabzulassen. Die durch ein Gegengewicht ausgewogene Lampe ist dagegen mittelst eines Hakens, zum Zweck des Einsetzens neuer Kohlenstäbe, bis in erreichbare Höhe über dem Boden herabziehbar. Die Leitungsdrähte sind an die am oberen festen Teller sitzenden Klemmen angeschlossen, und die über die Rollen geführten Kupferdrahtseile, an welchen die Lampe selbst hängt, dienen als

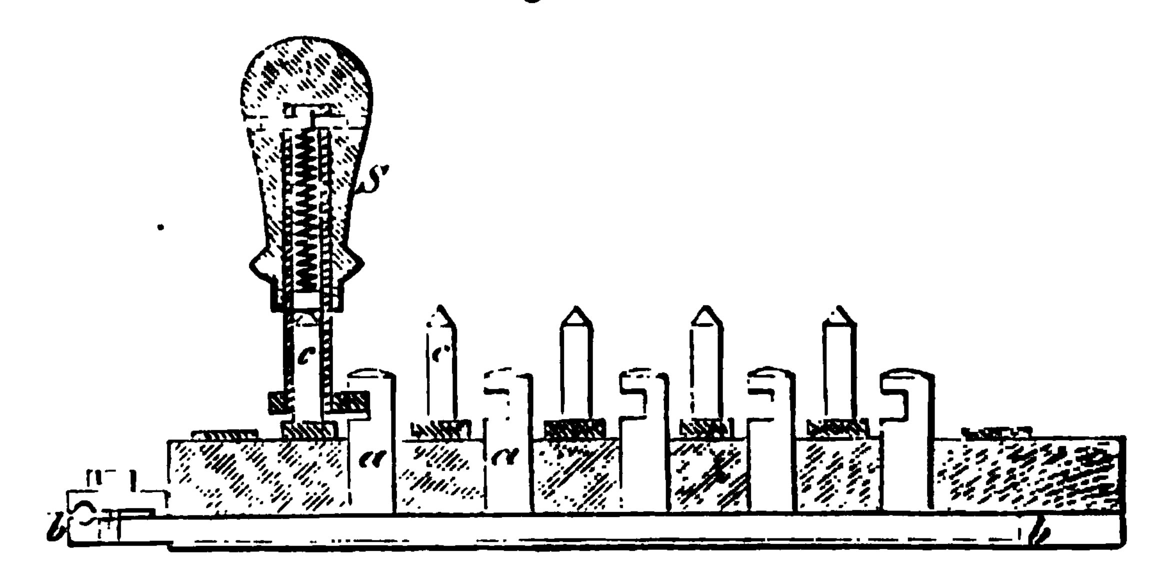
Fig. 199.



Zuleitungen zu dieser, so dass dieselbe auch während des Brennens beliebig gehoben und gesenkt werden kann.

In Figur 200 ist der General-Umschalter (*U*, Fig. 196) im Längsschnitte dargestellt. Der mit einem isolirten Griffe versehene Schlüssel *S* wird auf einen der über den Kreuzungspunkten in den Querschienen *b* steckenden Stifte *c*

Fig. 200.



General-Umschalter im Längsschnitte.

durch kräftigen Druck aufgesetzt und so weit rechts herumgedreht, dass er unter den Einschnitt einer der Säulen *a* fasst, welche auf den Längsschienen befestigt sind. Die im Schlüssel vorhandene Spiralfeder übt dabei einen starken Druck auf die Contactflächen aus.

Von ähnlichen Anlagen für Bahnhofsbeleuchtung, welche von *Siemens & Halske*, zum Theil unter Benutzung von mittelstarken Lichtern von 350 und stärkeren von 1200 Kerzenstärken ausgeführt worden sind, mögen hier genannt werden:

Der Centralbahnhof in München,[1]) 6 Maschinenpaare und 25 Differential-Lampen; Bahnhof in Elberfeld, 1 Maschinen-

[1]) Herr Ober-Ingenieur *Graff* in München war in der Lage, folgenden vorzüglichen Bericht erstatten zu können: „Das elektrische Licht des Münchener Centralbahnhofes ist schon seit 7 Monaten ununterbrochen in Anwendung gebracht und es hat sich die ganze Einrichtung vorzüglich bewährt. Bei allen Unbilden der Witterung im letzten Winter, an welchen die Gas-Ingenieure mit einigem Grausen zurückdenken werden, bei Regen, Schnee, Nebel, Duft, Wind und Sturm und den stärksten Temperaturveränderungen sind keinerlei Störungen vorgekommen. Während

paar und 6 Lampen; der Südbahnhof in Wien, 2 Maschinenpaare und 17 Lampen (5 starke Lichter); der Bahnhof in Hannover, 2 Maschinenpaare und 18 Lampen; der östliche Berliner Stadtbahnhof, 2 Maschinenpaare und 12 Lampen; der Bahnhof in Düsseldorf, 1 Maschinenpaar und 10 Lampen; der Bahnhof in Strassburg endlich mit einem Maschinenpaare und 8 Differential-Lampen. [1])

Der Umstand, dass Bahnverwaltungen die *Siemens & Halske*'schen Beleuchtungs-Einrichtungen in einzelnen ihrer Bahnhöfe eingeführt und reichliche Erfahrungen dabei gemacht haben, und dass zur weiteren Ausführung derselben auf anderen Bahnhöfen, in denen Gasbeleuchtungen vorhanden waren, geschritten wird, ist das beredteste Zeugniss dafür,

in den Strassen Münchens ein Theil der Gaslaternen durch völlige Dunkelheit, andere durch sehr unzulängliches Licht sich bemerkbar machten, während man in einer beträchtlichen Anzahl von öffentlichen und Privatgebäuden wegen völligen Versagens der Gasbeleuchtung wieder zu Kerzen und Petroleumlampen zurückgreifen und mehrere Wochen lang das Gaslicht entbehren musste, während Hunderte von Arbeitern damit beschäftigt waren, in allen Stadttheilen die eingedufteten und eingefrorenen Gasröhren aufzuthauen, während dem erglänzte allabendlich das elektrische Licht der Bahnhofhalle in völliger Reinheit und Stärke. Damit ist aber auch erwiesen, dass mit dieser Einrichtung der ersten Bahnhofhallen-Beleuchtung mittelst elektrischen Lichtes in Deutschland erfolgreich die Bahn gebrochen ist für die Benutzung dieses Lichtes in ähnlichen grossen Hallen, Concertsälen, Ballsälen und Theatern.“ (Z. f. a. E. 1880, p. 203.) Unter den vielen über den erprobten Werth der neuen Einrichtungen sehr günstig sich aussprechenden Berichten mag noch auf den Bericht hingewiesen werden, den die Passagiere der „City of Berlin“ verfasst haben. (E. Z. I, p. 70.) Der grosse Salon und das Zwischendeck des grossen Oceandampfers war nämlich von den Herren *Siemens Br.* in London mittelst Berliner Maschinen und Lampen eingerichtet. Das Licht brannte trotz Sturm und Wellen bei der winterlichen Ueberfahrt von Liverpool nach New-York während der langen Nächte und im Zwischendeck selbst im Tage vorzüglich, ermöglichte alle Arbeiten, sogar Nähen, und trug sehr zur Erheiterung und dem Wohlleben der Passagiere bei.

[1]) Vgl. Z. f. a. E. Bd. 3, p. 255. Die Einrichtung des Ostbahnhofes in Berlin, und der Bahnhöfe in Hannover, Düsseldorf, Elberfeld und München.

dass diese Einrichtungen sich als praktisch und ökonomisch gegenüber der Gasbeleuchtung bewährt haben.

Allseitigen Beifall fand das *Siemens*'sche Licht auf der internationalen Elektricitäts-Ausstellung in Paris; rückhaltlos wird von allen die Pariser Ausstellung besuchenden Fachleuten anerkannt, dass zweifellos das *Siemens*'sche System der elektrischen Beleuchtung zu denjenigen gehört, welche Anrecht auf dauernde Lebensfähigkeit haben. Auch auf der Ausstellung der allgemeinen deutschen Patent- und Musterschutz-Ausstellung zu Frankfurt fand das System *Siemens-Halske* besonderen Beifall. Dort hatten *Siemens & Halske* zunächst 14 Differential-Lampen ausgestellt, welche durch eine *Hefener-Alteneck*'sche dynamo-elektrische Maschine in Verbindung mit einer Wechselstrom-Maschine betrieben wurden. Diese 14 Lampen waren in zwei von einander unabhängigen Stromkreisen untergebracht, so dass die eine oder die andere Hälfte, oder auch alle zugleich gebrannt werden konnten. Die Betriebskraft lieferte die in einer halbbedeckten Halle befindliche Dampfmaschine von 30—40 Pferdekraft, 350mm Cylinderdurchmesser, 700mm Hub, mit Ventilsteuerung und gezwungener Bewegung, (*Collmanns* Patent) der *Kühnle*'schen Maschinen-Fabrik, Frankenthal (Rheinpfalz). Die Lampen waren mit grossen Glasglocken von ½m Durchmesser bedeckt und sandten ein schönes, gleichmässiges Licht aus.

Besonders erwähnenswerth ist, dass diese Lampen auch eben so schön mit einem constanten Strom brannten, wie ein zweites von *Siemens* ausgestelltes System bewies. Den constanten Strom lieferte eine dynamo-elektrische Maschine dritter Grösse mit *Hefener*'scher Trommel. Fünf Lampen waren nach diesem Systeme eingerichtet, vier beleuchteten den mittleren Theil des Ausstellungsplatzes, die fünfte die elektrische Station von *Siemens & Halske* selbst.

Die dynamo-elektrische Maschine wurde durch eine, zum ersten Male auf der Ausstellung in Thätigkeit tretende.

rotirende Dampfmaschine betrieben, welche von dem Fürsten *Dolgorucky* construirt und in dem Etablissement von *Siemens* ausgeführt wurde.

Die Axe dieser Maschine ist direct mit der Axe der dynamo-elektrischen Maschine verkuppelt; sie macht in der Minute 840 Umdrehungen. Diese übertragen sich direct auf die letztere Maschine und rufen einen elektrischen Strom hervor, der im Stande wäre, in einer elektrischen Lampe einen mächtigen Lichtbogen zu erzeugen. Die Maschine vermag bei 1300 Touren ungefähr 8 Pferdekräfte zu entwickeln, von welcher jedoch zur Beleuchtung hier nur etwa vier benutzt werden.[1])

Sämmtliche zu diesem Stromkreise benutzte Lampen waren, wie auch die des ersten Systems, auf 3 mm Flammbogen justirt und brannten auch ebenso ruhig und gleichmässig wie die mit Wechselstrom betriebenen Lampen. Alle zehn Stunden Brennzeit wurden neue Kohlen in die Lampen eingesetzt.

In derselben Ausstellung war auch zum ersten Male in Deutschland Gelegenheit geboten, das von *G. H. Möhring* befolgte System kennen zu lernen. Es zeigte sich dort, dass die Haupterfordernisse einer guten Beleuchtung, kräftiges, farbloses Licht, einfach zu behandelnde Organe und vollständige Theilung des Stromes durch das *Möhring*'sche System befriedigt sind. Das System *Möhring* ist im Wesentlichen, wie schon aus den §§. 45 und 49 hervorgeht, das im Auslande als *Weston*'sche bekannte und weithin verbreitete System elektrischer Beleuchtung.[2])

Es würde zu weit führen, die einzelnen Systeme im Detail besprechen zu wollen; erwähnt sei nur, dass ausser den vorhin genannten Systemen in Deutschland noch dasjenige von

[1]) Vgl. *Glaser's* Annalen 1881, Bd. VIII, Heft 12.

[2]) Vgl. The *Weston* systeme of electric lighting. Engineering. Vol. XXXII, Nr. 810.

Schuckert (§§. 38 und 94), im Auslande u. A. die Systeme von *Brush* (§§. 28 und 90)[1] und *Crompton* (§§. 50 und 85)[2] eine sehr grosse Verbreitung gefunden haben. Ist hiernach die von gasfachmännischer Seite befürchtete Concurrenz der elektrischen Beleuchtung mit der Gasbeleuchtung insofern bereits eingetreten, dass vielfach grosse Räume mit grösstem Erfolge elektrisch beleuchtet werden, so wird sich diese Concurrenz bald auch auf die Strassenbeleuchtung erstrecken; von Wichtigkeit für die Entwickelung der öffentlichen Beleuchtung sind die grossartigen Versuche, die man in Boston und New-York mit dem System *Brush*[3]) und jüngst in London mit den Systemen *Siemens*, *Brush* und *Lontin* machte.[4]) Dort fand die von *Siemens Brothers* getroffene Anordnung besonders bezüglich der Betriebssicherheit vielfach Beifall, während das System *Brush*, welches an Einfachheit gewiss nichts zu wünschen übrig lässt, in mehr als einem Sinne Bedenken erregt, zumal da bei der Erzeugung einer sehr grossen Anzahl (16 bis 40) von Lichtern in demselben Stromkreise das blosse Berühren der Leitungsdrähte in der Nähe der Maschine den Tod zur Folge haben kann.[5]) Daher ist es angezeigt, die Anzahl der von einer Maschine gespeisten Lampen nicht zu sehr auszudehnen, wenn auch mehr Leitungsdraht erforderlich sein sollte.

Von grosser Tragweite ist auch die Verwendung des *Volta*'schen Bogenlichtes in Bergwerken. Da nämlich das elektrische Licht zum Verbrennungsprocesse keinen Sauerstoff verlangt, so kann es in eine Laterne hermetisch eingeschlossen werden, eine Eigenschaft, welche vor allem für Gruben werthvoll ist, die durch schlagende Wetter gefährdet

[1]) Vgl. The *Brush* systeme of electric lighting. Engineering. Vol. XXXI, Nr. 786.

[2]) Vgl. éclairage électr.; système *Crompton*. L'ingenieur, 1881, 2. Sept.

[3]) Vgl. The Electrician. Vol. VI, Nr. 9, p. 100.

[4]) Vgl. Nature. Vol. 24, Nr. 601, 602, 603, sowie Z. f. a. E. 1881, p. 189.

[5]) Vgl. §. 121.

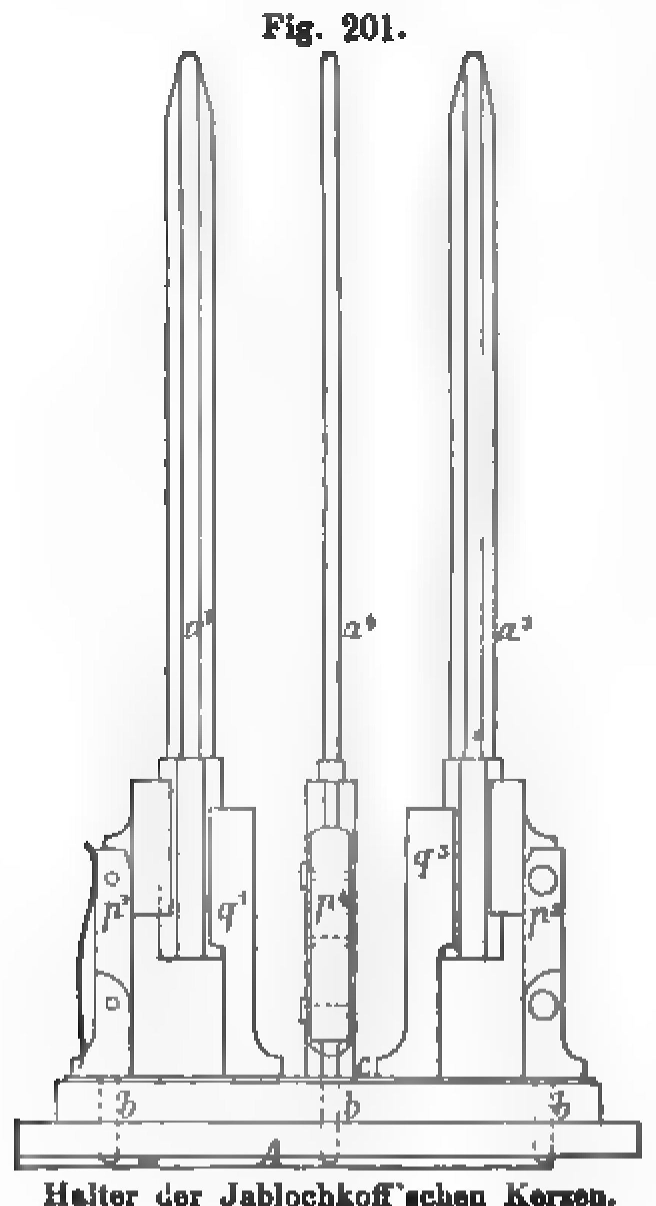
werden, indem durch ihre Benutzung eine Entzündung der Grubengase nicht zu befürchten ist. Da man ausserdem mit elektrischem Lichte die grössten Räume in den Bergwerken beleuchten und die Decke bis in ihre kleinsten Einzelheiten prüfen kann, um ihre Haltbarkeit aufs genaueste zu bestimmen, so lassen sich auch die Unglücksfälle vermeiden, welche so oft aus der Ablösung von Kohlenstücken von der Decke entstehen. Mit Erfolg wird denn auch das System *Brush* in den pensylvanischen Anthracitgruben zur Beleuchtung der Stollengänge und Abbauräume verwandt; und seit längerer Zeit sind in St. Etienne 7 *Gramme*'sche Maschinen thätig, um mit hermetisch verschlossenen elektrischen Lampen die Arbeiter gegen Explosionen der schlagenden Wetter zu schützen.

Einer sehr ausgebreiteten Anwendung zur Beleuchtung erfreuen sich ferner die *Jablochkoff*'schen Kerzen (§. 97). Früher befestigte man 4 Kerzen auf einem gemeinschaftlichen Sockel unter einer Milchglasglocke. Von den 5 auf dem Sockel befestigten Klemmenschrauben erhielt die mittlere den einen von der elektrischen Maschine kommenden Leitungsdraht und verband ihn mit den 4 nach innen stehenden Klemmen der Kerzen. Die 4 anderen Klemmschrauben liessen sich von der Hand der Reihe nach durch einen Commutator mit jeder der 4 nach aussen stehenden Klemmen der Kerzen verbinden, und diese standen sämmtlich mit dem zweiten von der elektrischen Maschine kommenden Leitungsdrahte in Verbindung. Ein einfacher Druck auf den Schieber des Commutators leitete so den Strom von der einen Kerze der Reihe nach zu den drei übrigen, und dieses Umsetzen erfolgte so rasch, dass dasselbe an dem Lichte kaum wahrzunehmen war. Vier solche Sockel mit Glasglocke, also 16 Kerzen, vereinigte man zu einem Kreislaufe und liess zunächst den Strom bloss durch eine Kerze eines jeden Sockels hindurchgehen, so dass jedesmal 4 Kerzen in einem und demselben Strome hintereinander eingeschaltet waren; wenn

diese verbraucht waren, setzte man die Commutatoren in Thätigkeit und leitete den Strom in jeder Glocke zu der folgenden Kerze.

Ein Uebelstand von nicht unerheblicher Art war mit der Einschaltung mehrerer *Jablochkoff*'schen Kerzen in einen einzigen Stromlauf verbunden; wenn nämlich aus irgend einer Ursache eine Kerze erlosch, so war der Strom unterbrochen und alle Kerzen desselben Kreislaufes erlöschten zu gleicher Zeit. Dieselben liessen sich dann auch nicht sogleich wieder anzünden, weil das Isolirmaterial sofort fest und nicht leitend wurde, und dann die leitende Substanz fehlte, welche dem Strome den Durchgang von dem einen Kohlenstäbchen zu dem andern gestattete. Man hat verschiedene Versuche gemacht, dieses Uebelstand ganz zu beseitigen, sowie den sonst angewendeten Commutator zu ersparen, welcher nach dem Verbrennen der einen Kerze eine andere in Dienst stellte.

Fig. 201.

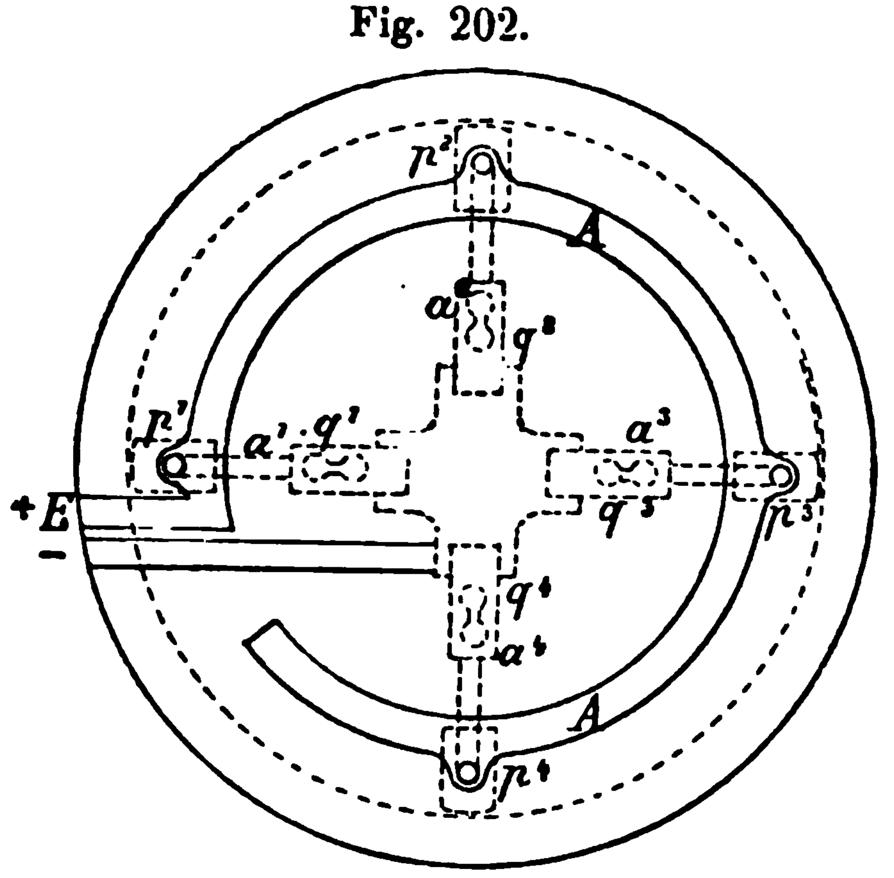


Halter der Jablochkoff'schen Kerzen.

Eine Methode beruht darauf, dass niemals zwei Kerzen einen genau gleich grossen Widerstand haben. Schaltet man daher vier Kerzen mittelst einer Laterne in Parallelschaltung in den Stromkreis, so entzündet sich diejenige, welche den geringsten Widerstand besitzt. Fig. 201 zeigt eine Seitenansicht und Fig. 202 die untere

Ansicht einer solchen mit Kerzen a_1 a_2 a_3 a_4 verschenen Laterne. Die Zangen, welche die Kerzen halten, besitzen bewegliche Schenkel p_1 p_2 p_3 p_4, wie Fig. 201 zeigt. Sie stehen in metallischer Verbindung mit einem und demselben Ringe A durch kleine Zwischenstücke b, welche den durch E eintretenden Strom durch diese Schenkel leiten. Der Strom verlässt die Kerzen vermittelst des centralen Sterns C und durch den Metallstreifen (—), wie aus Fig. 202 ersichtlich ist.

Fig. 202.



Halter der Jablochkoff'schen Kerzen.

Sobald der Strom die Laterne, d. h. alle Kerzen durchströmt, entzündet derselbe doch nur eine und zwar diejenige, welche den geringsten Widerstand bietet, da, wie schon gesagt, die Kerzen, obgleich unter denselben Bedingungen angefertigt, niemals mathematisch genau denselben Leitungswiderstand haben. Löscht aber die eine Kerze in Folge des Abbrennens oder eines anderen Umstandes aus, so entzündet der Strom von den drei übrig gebliebenen Kerzen diejenige, welche nunmehr den geringsten Widerstand besitzt u. s. w. Unter Anwendung dieser Methode ist das Auslöschen aller Lampen freilich wohl unmöglich, jedoch bedingt dieselbe einen beträchtlichen Stromverlust, der sich mit einem rationellen und ökonomischen Betriebe nicht vereinigen lässt; auch wirkt die Zunahme des äusseren Widerstandes im hohen Grade nachtheilig auf die Maschinen ein, welche mehr angestrengt werden, als sie eigentlich sollten.

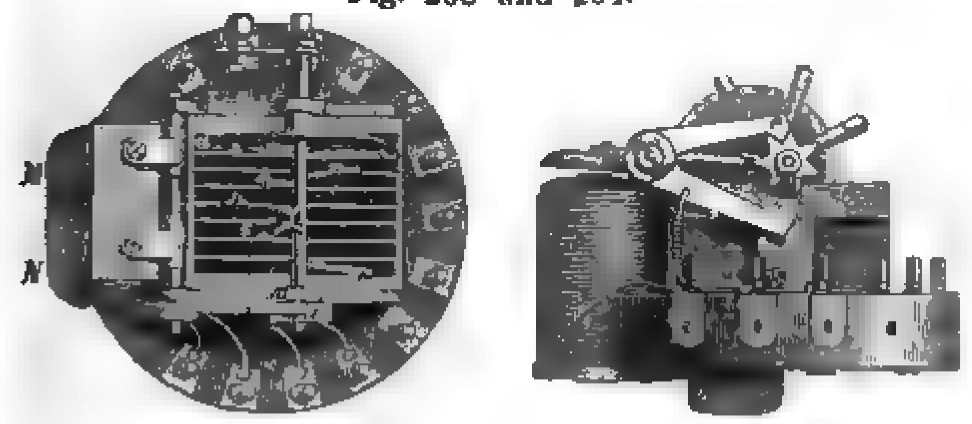
Eine fernere Methode besteht darin, dass man für jede Serie von Kerzen eine besondere Leitung legt und diese

Leitungen vom Maschinenhause aus durch einen Umschalter einzeln mit der Maschine verbinden kann. Sobald ein in die Hauptleitung eingeschalteter Signal-Apparat das Aufhören des Stromes anzeigt, welches beim Erlöschen einer Kerze eintritt, wird durch Drehen des Umschalters eine zweite Serie von Kerzen eingeschaltet. Bei dieser Disposition können allerdings keine grossen Beleuchtungspausen entstehen, wohl aber kleinere. Ferner bedingt dieselbe die permanente Anwesenheit des Maschinisten; auch ist mit ihr eine grosse Verschwendung von Kohlen und noch mehr von Leitungsmaterial verbunden, welche das System bei grösseren Distanzen enorm theuer macht.

Die eben dargestellte, in London mehrfach angewandte Methode hat kürzlich eine Modificirung erfahren, welche sich bei der Beleuchtungsanlage im Hafen von Havre gut bewährt hat. Hier hat man nämlich nur zwei gesonderte Leitungen durch die Lampen geführt, dagegen im Fuss der Candelaber Stöpsel-Umschalter angebracht, welche die beiden anderen Leitungen ersetzen. Im Maschinenhause befindet sich demnach ein Umschalter mit zwei Contacten. In die Hauptleitung ist ein Elektromagnet eingeschaltet, welcher während der Stromdauer den Stromkreis einer gewöhnlichen Alarmglocke öffnet. Tritt im Laufe der Beleuchtung eine Unterbrechung des Stromes ein, so wird der Maschinist durch die Glocke hierauf aufmerksam gemacht. Derselbe dreht dann sofort die Kurbel des Umschalters und schaltet dadurch die zweite Serie von Kerzen ein. Es geht hierauf ein Arbeiter nach den Candelabern und vollzieht eine Stöpselung derart, dass bei eventuellem Zurückdrehen der Umschaltekurbel die dritte Serie Kerzen anbrennt. Ist die dritte Serie in Betrieb genommen, so wird wieder eine Umstöpselung vollzogen, und es ist nun die vierte Serie in Bereitschaft und brennt an, sobald die Kurbel wiederum gedreht wird. Diese Disposition leistet also fast dasselbe bei geringerem Verbrauche an Leitungsmaterial.

Neuerdings gestaltet sich die Installation mit *Jablochkoff*'schen Kerzen wiederum anders, insofern die Einschaltung der Kerzen fast automatisch geschieht. Die Kerzenhalter haben eine wie in Fig. 201 gezeichnete Gestalt; die beweglichen Theile der Zangen sind mit einander und einer Klemme leitend verbunden; die festen Theile sind jedoch von einander isolirt, einzeln mit Klemmen verbunden und insofern geändert, als auf dem unteren äusseren Ende derselben ein aus Stahl und Kupfer verfertigter Compensationsstreifen befestigt ist. Dieser wird durch die Nähe des *Volta*'schen Flammenbogens, bevor die Kerze ganz verzehrt ist, in Folge der gesteigerten Temperatur von dem festen Zangentheile sich abheben und damit einen mitten auf dem Kerzenhalter befestigten, sternartig gebildeten Contact berühren.


Fig. 203 und 204.



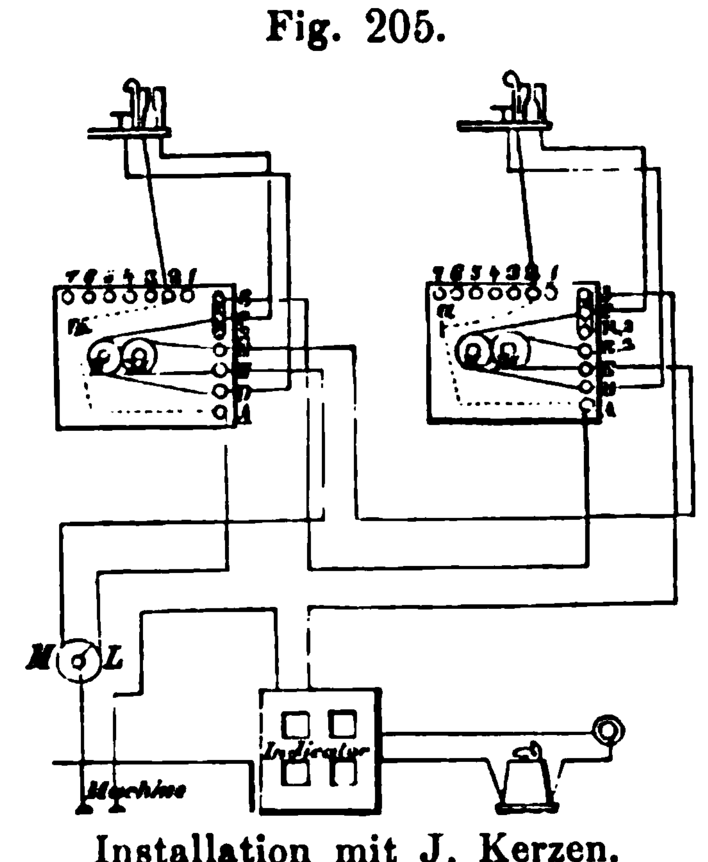
Automatischer Commutator der J. Kerzen.

Mit jedem Kerzenhalter ist ein automatischer Commutator (Fig. 203 und 204) verbunden, so zwar, dass von gewissen Klemmen desselben Leitungsdrähte zu den festen Theilen der Zangen führen. Der Commutator besteht, wie Fig. 203 (Grundriss) zeigt, aus acht Quecksilber enthaltenden Gefässen, welche von einander isolirt neben einander stehen. In das äussere Gefäss *a* taucht eine Scheibe, mit welcher eine in zwei Lagern ruhende Welle *w* befestigt ist. Diese trägt auf dem längeren Theile 7 Arme, von denen bei richtigem Niveau des Quecksilbers stets nur ein einziger in das correspondirende Quecksilberbad eintaucht. Auf dem kleineren

Theile der Welle w ist eine Nadel befestigt, welche mit Hülfe eines auf dem den Commutator umschliessenden hölzernen Gehäuse angebrachten graduirten Kreises denjenigen Stab angibt, welcher zur Zeit ins Quecksilber taucht. Die Rotation der Welle erfolgt durch ein Echappement e und ein 7zähniges Rad r, welche, wie die Fig. 203 und 204 zeigen, durch die Elektromagnete N und M in Bewegung gesetzt werden können, sobald der Anker an- oder abgezogen wird.

Die Installation erfolgt nun folgendermaassen (vgl. Fig. 205): In der Nähe der dynamo-elektrischen Maschine ist mit dem aus ihr führenden Leitungsdrahte ein zweiwegiger Commutator L angebracht, dessen Contact im gewöhnlichen mit der Klemme A des Commutators in Verbindung steht. Von A führt den Strom ein Draht zu dem Gefäss a, der Scheibe, der Welle und demjenigen Stabe, etwa dem $n$ten, welcher eben in das zugehörige Quecksilberbad taucht. Da nun diese Bäder einzeln mit den Klemmen leitend verbunden sind, von welchen bereits oben gesagt wurde, dass sie mit den festen Theilen der Kohlenhalter in Verbindung stehen, so fliesst der Strom von dem $n$ten Bade zur $n$ten Kerze der ersten Laterne, durch diese hindurch zu dem beweglichen Theile der Zange und der die beweglichen Zangentheile verbindenden Klemme, welche ihrerseits mit der Klemme C des Commutators verbunden ist. Letztere steht aber in Verbindung mit der Klemme S, von welcher aus die Leitung zur zweiten Laterne führt, wo der Strom einen gleichen Weg zu durchfliessen hat. Ist die zweite Laterne, wie in der Fig. 205 angenommen ist, auch die letzte, so führt von der Klemme S eine Leitung zur Maschine zurück.

Fig. 205.



Installation mit J. Kerzen.

Der geschilderte Vorgang erfolgt nur so lange, als jede Kerze gut brennt. Erlischt jedoch eine Kerze (etwa der ersten Laterne), so biegt sich der entsprechende Compensationsstreifen zurück und stellt den Contact des festen Theiles der Zange mit dem sternartigen Leiter her. Alsdann findet der Strom zwei Wege: den einen von dem festen Zangentheile zu dem beweglichen Theile durch die erlöschende Kohle hindurch — den zweiten von dem festen Zangentheile sofort zu dem Sterne hin. Letzterer bietet natürlich weniger Widerstand, und so geht der grösste Theil des Stromes den zweiten Weg, welcher zur Klemme D des Commutators, von hier zu dem Elektromagnet N und von diesem zur Klemme C führt, von wo ab der Strom in der alten Bahn fliesst. Sobald aber der Strom den Elektromagnet N umfliesst, zieht derselbe die Armatur an, das Echappement e hebt sich und treibt das Zahnrad r um einen Zahn weiter. Dadurch wird der $n$te Stab aus seinem Bade gehoben, der folgende, der $n + 1$te Stab hingegen in sein Bad getaucht, welches mit der $n + 1$sten Kerze derselben Laterne in Verbindung steht. Sobald auf diese Weise der Strom von der $n$ten Kerze abgeschnitten und zur $n + 1$ten Kerze hingeleitet wird, fliesst derselbe natürlich den alten Weg, da bei der $n + 1$ten frischen Kerze der Compensationsstreifen fest an dem festen Zangentheile anliegt und nur die Kerze als Stromweg offen steht. Damit hört also der Strom auf, den Elektromagnet N zu umfliessen, die Armatur hebt sich und das Echappement e hemmt das Rad r, wonach dieses nur eine Drehung eines Siebentel des Kreises machen kann. Es ist hieraus ersichtlich, wie beim Abbrennen einer Kerze einer beliebigen Laterne die Einschaltung einer neuen Kerze und somit der Stromschluss automatisch erfolgt.

Anders ist es aber, wenn eine Kerze unzeitig erlischt, da dann in Folge zu grosser Entfernung des *Volta*'schen Bogens von der Zange bezw. dem Compensationsstreifen die

Temperatur des letzteren noch nicht hoch genug ist, als dass der Streifen schon den Contact mit dem Stern herstellen könnte. Der Strom würde also unterbrochen und alle Kerzen erlöschen, wenn nicht in anderer Weise durch eine Alarmglocke dafür gesorgt wäre, dass der Wärter von dem unzeitigen Erlöschen der Kerze sofort benachrichtigt würde. Dann dreht derselbe sofort einfach den Commutator einen Moment um, wodurch der Strom, wie die Fig. 205 deutlich zeigt, durch die Elektromagnete *M* sämmtlicher Laternen und schliesslich zur Maschine geleitet wird. Dieses ist dadurch möglich, dass bei der letzten Laterne die Klemmen E_2 und R_2 mit einander verbunden sind. Wie oben beschrieben, ziehen nun die Elektromagnete *M* die Armaturen an und schalten dadurch neue Kerzen ein. Sowie also der Wärter den Commutator *L* in die alte Lage zurückbringt. geht der Strom durch die neuen Kerzen, wonach, da die Handlung äusserst rasch erfolgen kann, eine event. eintretende Dunkelheit nur von kurzer Dauer sein kann.[1])

Es wurde bereits gesagt, dass die *Jablochkoff*'schen Kerzen sich gegenwärtig einer sehr ausgebreiteten Anwendung erfreuen, aus dem einfachen Grunde, weil sie ohne weitere Hülfsmittel den elektrischen Lichtbogen erzeugen und zu seiner Erhaltung keinerlei Regulirungsvorrichtung bedürfen. Die grösseren Theater zu Paris, Lyon, Petersburg u. s. w., zahlreiche Vergnügungslocale in den grösseren Städten aller Länder Europa's, so wie eine grosse Zahl von Fabriken jeder Art verschaffen sich ihre Beleuchtung durch die *Jablochkoff*'sche Kerze. Bei Eröffnung der Wintersaison 1879—1880 betrug die Zahl der von der *Société génerale d'Electricité* installirten Kerzen über 3000, und die Werkstätten dieser Gesellschaft haben neuerdings sehr

[1]) Vgl. Engineering The *Jablochkoff* system of electric lighting. Vol. XXXII, Nr. 821, p. 299 u. ff.

umfangreiche Erweiterungen erfahren. Leider haben sich die mit dieser Beleuchtungsart verbundenen Uebelstände noch nicht ganz beseitigen lassen, wozu besonders kommt, dass die Kerzen nur bei einer ganz bestimmten Stromstärke regelmässig brennen und immer die Gefahr einer Beleuchtungspause vorhanden ist, wenn eine Kerze schlecht brennt oder die Stromstärke auch nur einen Moment um ein Geringes fällt. Diesen Uebelständen gegenüber und mit Rücksicht darauf, dass die Kohlenstäbe in den Lampen eine viel grössere Brenndauer besitzen als in den Kerzen, und dass bei den letzteren das öftere Erneuern der abgebrannten Kohlen durch besondere Umschalter, so wie die Anlage der mehrfachen Leitungen mit Umständlichkeiten und Kosten verbunden ist, lässt sich behaupten, dass die Beleuchtung durch Lampen mit Stromverzweigung, insbesondere durch die *Siemens-Halske*'schen Differential-Lampen und andere Lampen von hoher Vollendung, trotz des hinzukommenden Regulir-Mechanismus, sich nicht bloss weit einfacher im Betriebe, sondern auch billiger in der Anlage gestaltet, als die elektrische Kerzenbeleuchtung.

Die elektrische Beleuchtung mittelst des *Volta*'schen Lichtbogens, welche nur in grossen Räumen passende Verwendung findet, wird durch diejenige mittelst Glühlichtes ergänzt, da die letztere zur Beleuchtung kleinerer Räume vorzüglich geeignet erscheint. Unter der grossen Anzahl der Incandescenz-Lampen haben diejenigen von *Swan*, *Edison* und *Maxim* bereits eine gewisse praktische Bedeutung erlangt. Im Pariser Ausstellungs-Palaste war eine grosse Anzahl dieser Lampen mit grossem Erfolge im Betrieb. Auch war dort die Art und Weise des Ineinandergreifens der zur Erzeugung und Regulirung des Glühlichtes erforderlichen technischen Einrichtungen zu erkennen. Sämmtliche vorhandenen Gegenstände machten durchaus den Eindruck des Fertigen; alles, was gezeigt wurde, war unmittelbar dem Betrieb

entnommen, gut eingerichtet und so angeordnet, dass man sich von den grossartigen Anlagen, die in New-York und anderen Städten der Vereinigten Staaten bestehen und bereits Hunderte von Häusern mit einem gefahrlosen, geruchfreien, keine Wärme verbreitenden, billigen und angenehmen Lichte versorgen, eine Vorstellung zu machen im Stande war.[1])

Die ganze Einrichtung der Beleuchtung mittelst Incandescenz ist mit einer Gasleitung zu vergleichen; statt des Gasometers dient die Lichtmaschine (secundäre Elemente); statt des Hauptrohres denke man sich zwei isolirte Drähte von entsprechender Dicke parallel neben einander fortgeführt, welche an den nicht mit der Lichtmaschine verbundenen Enden leitend verbunden sind; von diesen beiden dicken Drähten gehen Abzweigungen dünneren Drahtes aus, von diesen wiederum Abzweigungen noch dünneren Drahtes u. s. w.; eine jede Abzweigung besteht aus zwei parallel geleiteten Drähten, welche am Schlusse mit einander verbunden sind, mit ihrem Ursprunge aber an je einen Draht der nächst dickeren Leitung anschliessen. In solche Leitungen werden nun die einzelnen Lampen, mit Vorrichtungen versehen, wie sie in dem §. 114 beschrieben wurden, parallel neben einander geschaltet.

Eine grosse unterirdische Röhrenanlage, in welcher die Zuführungen für den elektrischen Strom sich befinden, verbindet in New-York die einzelnen Häuser mit einer Centralstation. In letzterer sind zwölf Dampfmaschinen von je 150 Pferdekräften aufgestellt, die zur Inbetriebsetzung von Dynamo-Maschinen dienen. Jede derselben vermag 2000—2500 Lampen von je acht Kerzenstärke zu speisen. Die Vertheilung des Stromes in die einzelnen Häuser erfolgt von den die Strassen durchlaufenden Hauptsträngen aus. Die Abzwei-

[1]) Vgl. Engineering. Vol. XXXI, Nr. 807. The *Maxim* system of electric illumination by incandescence. — ib. Vol. XXX, Nr. 77?. *Swan's* electric light.

gungen bilden auf diese Weise in jedem Hause gewissermaassen die Pole des Lichterzeugers, zu welchen die verschiedenen Drähte der in einem Hause befindlichen Lampen führen, so dass die Einrichtung eines jeden Hauses unabhängig von derjenigen eines anderen ist. Für etwaige eintretende Störungen ist eine Reserve von Zuführungen vorgesehen. Wünscht ein Hausbesitzer eine elektrische Lichteinrichtung, so bestellt er dies einfach bei der Electric Company, welche ihm innerhalb der vorhandenen Gasröhren den elektrischen Strom in sein Haus leitet und da, wo er es wünscht, die Lampen aufstellt; er zahlt keinerlei Anlagekosten, sondern lediglich eine Abgabe für die fortlaufende Benutzung der Lampen. Wie beim Gas die Menge des im Laufe des Monats consumirten Gases an einem Gasmesser abgelesen wird, so dient zur Festsetzung der bei Benutzung von elektrischem Lichte verwandten Menge des elektrischen Stromes bezw. der aufgewandten Kraft ein geeignet construirter elektrolytischer Apparat.

In New-York werden die Lampen *Edison's* und *Maxim's* wegen der absoluten Ruhe des Lichtes und der grossen Reinlichkeit desselben sehr geschätzt und bereits vielfach verwendet. Eine noch grössere Verbreitung werden diese Lampen in bürgerlichen Wohnungen und kleineren Räumen finden, wenn die secundären Elemente (vgl. Abth. 16) weiter vervollkommnet werden, gute Reservoire der Elektricität bilden, käuflich zu beziehen, bezw. zu miethen sind und alsdann die Beleuchtung mittelst Glühlichtes auch dann gestattet, wenn ein Anschluss an grössere Leitungen nicht zu ermöglichen ist. So viel ist sicher, dass die Pariser Ausstellung ein Wendepunkt in der Beleuchtungskunst ist, dass Gas und Petroleum zurückgedrängt werden, wenn auch noch nicht heute und morgen, so aber doch in nicht gar zu fern liegender Zeit.

Schliesslich erfreut sich die Anwendung des Glühlichtes

zur Beleuchtung gewisser Körpertheile in Verbindung mit mehr oder weniger einfachen instrumentalen Hülfsmitteln einer steigenden Beachtung und Anwendung in der praktischen Medicin; wie die zu untersuchenden Organe durch Einführung des elektrischen Glühlichtes beleuchtet werden, wollen wir nicht erörtern; doch sei hingewiesen auf die bezüglichen interessanten Vorträge der Herren *Stein* und *Weise*, welche in Sitzungen des Elektrotechnischen Vereines in Berlin gehalten wurden.[1])

Wenn die elektrische Beleuchtung in den letzten Jahren eine weite Verbreitung gefunden hat, so ist dieses leicht zu begreifen, wenn nur

119. Die Vorzüge des elektrischen Lichtes hinreichend gewürdigt werden. Der elektrische Lichtbogen übertrifft durch seine reiche Lichtfülle und seinen Glanz alle übrigen Lichtquellen, die wir besitzen, ja, in den grossen Lichtmaschinen kommt der letztere dem Glanze der Sonne nahe, wenn er denselben nicht schon übertrifft. (S. 77.) Aber dieser Reichthum an Strahlen ist nicht der einzige Vorzug des elektrischen Lichtes; der blosse Anblick einer Gasflamme zur Tageszeit lässt dieselbe röthlich-gelb erscheinen, und dasselbe zeigt sich, wenn man eine Gasflamme mit dem Lichte einer elektrischen Lampe oder einer *Jablochkoff*'schen Kerze vergleicht, welches fast rein weiss, höchstens mit einer leichten Nuance ins Rosa-Violett erscheint.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass das weisse Licht der Sonne, das Kalklicht, das Magnesiumlicht, das Licht des Leuchtgases, des Petroleums und des Oels nicht einfach, sondern aus zahllosen farbigen Strahlen zusammengesetzt ist, die wir von einander trennen und zu einem vielfarbigen

---

[1]) E. Z. I, p. 123. *Dr. Stein:* Das elektrische Glühlicht zu ärztlich diagnostischen Zwecken. — ib. II, p. 159. *Dr. Weise:* Ueber Elektro-Endoskopie der menschlichen Körperhöhlen.

Fächer oder Bande (Spectrum) ausbreiten können, wenn wir das von jenen Quellen ausgehende Licht durch ein Glasprisma hindurchleiten. Das Auge ist nicht im Stande, aus der Färbung einer Flamme ohne Weiteres auf die Bestandtheile ihres Lichtes zu schliessen, wohl aber zeigt uns das Spectrum der Flamme sofort, aus welchen farbigen Strahlen ihr Licht zusammengesetzt ist. Die genannten sechs Lichtarten erscheinen uns mehr oder weniger weiss, und doch weichen ihre Spectra bedeutend von einander ab. Zwar enthalten sie alle die sämmtlichen Hauptspectralfarben Roth, Orange, Gelb, Grün, Hellblau, Indigo, Violett und alle dazwischen liegenden Farbenabstufungen, aber jede Farbe ist in sehr verschiedenen Graden darin enthalten.

Das reine, unveränderte Licht der Sonne nennen wir weiss, und nur diejenigen Lichtmischungen erscheinen uns ebenfalls weiss, in denen die einzelnen farbigen Strahlen in demselben Verhältnisse vorkommen, wie in dem Lichte der Sonne.

Das Licht der Gas-, der Oel- und der Kerzenflamme ist reich an rothen, orangefarbenen und gelben Strahlen, aber es ist arm an grünen, noch ärmer an blauen Strahlen und das Violett fehlt darin fast ganz; desshalb ist dieses Licht auch nicht rein weiss, wie das Sonnen- oder das Tageslicht, und die genannten Flammen sind röthlich-gelb gefärbt.

Das elektrische Licht ist weit vollständiger an Farben; das von den glühenden Kohlen ausgestrahlte Licht ist rein weiss und enthält alle Farben in demselben Verhältnisse wie sie im Sonnenspectrum vorkommen; es wirkt daher auch wie das Sonnenlicht und kann als zerstreutes Licht das Tageslicht in jeder Beziehung ersetzen. Das Licht des Bogens zwischen den Kohlenspitzen ist etwas anders zusammengesetzt; es ist arm an rothen, dagegen reich an blauen Strahlen und hat sogar gegenüber dem Sonnenlichte einen merkbaren Ueberschuss an Violett. Eben dieses Hervortreten des Blau und des Violett in dem Lichtbogen gibt

der Gesammtheit des elektrischen Lichtes einen schwachen Stich ins Rosaviolett, der in dem Maasse mehr verschwindet, als man die Kohlenspitzen einander näher bringt und den Bogen kleiner macht.

Die gefärbten Stoffe erscheinen nur dann in ihrer vollen, reinen Farbe, wenn sie von dem weissen Lichte beleuchtet werden; der Stoff nimmt dann aus der Gesammtheit aller auf ihn fallenden Farben diejenigen heraus, welche mit seiner Farbe übereinstimmen, und reflectirt sie in unser Auge, während er die übrigen Farben absorbirt. Wenn dagegen in dem auffallenden Lichte diejenigen Farben ganz oder theilweise fehlen, welche dem Reflexionsvermögen des gefärbten Stoffes entsprechen, so sehen wir ihn auch nicht in seiner natürlichen Farbe; entweder absorbirt er alle in dem auffallenden Lichte vorhandenen Farben und er erscheint uns schwarz, oder aber es fehlt in den reflectirten Strahlen ein Theil derjenigen, welche er reflectiren würde, wenn er sie mit auffallendem weissem Lichte erhalten hätte. In letzterem Falle erscheint uns der Stoff in einer anderen Farbe, als unter Einwirkung des weissen Tageslichtes. Wir sagten, dass das Licht einer Gasflamme reich an rothen, aber arm an blauen Strahlen sei. Wenn daher ein blau gefärbter Stoff von dem Lichte einer Gasflamme beleuchtet wird, so reflectirt er weniger Blau, als wenn das Tageslicht ihn beleuchtet; seine Farbe wird dann nicht bloss matt und stumpf, sondern hat auch wegen des nunmehrigen Ueberwiegens des Gelb oft einen Stich ins Grünliche.

Wollen wir daher die Farbstoffe oder die mit ihnen gefärbten Gewebe in ihren natürlichen Farben sehen, so müssen wir sie mit weissem Lichte beleuchten, und dieser Umstand gibt der elektrischen Beleuchtung in sehr vielen Fällen einen grossen Vorzug vor der Beleuchtung mit Gaslicht. In den grossen Magazinen für Kleiderstoffe, in denen alles aufgeboten wird, um dieselben in dem Glanze und der

Reinheit ihrer Farbe erscheinen zu lassen, in vielen Fabriken (Zucker-, Salpeter-, Bleiweiss- u. s. w. Fabriken), in denen ein weisses Material erzeugt wird; in Färbereien, Farbstofffabriken, Teppichwebereien u. s. w. ist daher die Beleuchtung mit elektrischem Lichte von grossem Vortheil.

Dieser Vortheil wird noch dadurch erhöht, dass das elektrische Licht nicht auf Kosten des Verbrauches an Sauerstoff der Luft erzeugt wird und nicht wie das Gaslicht die Luft des Raumes, in welchem es leuchtet, verdirbt. In den Gasflammen wird das Licht durch die chemische Verbindung erzeugt, welche die Bestandtheile des Leuchtgases mit dem Sauerstoffe der umgebenden Luft eingehen; es wird dadurch nicht bloss der Luft, welche wir athmen, ihr Hauptbestandtheil entzogen, sondern dieselbe wird auch durch die sich bildende, der Gesundheit nachtheilige Kohlensäure verunreinigt. Der elektrische Lichtbogen verändert die Luft in keiner Weise, und dieses ist ein neuer Grund, warum die elektrische Beleuchtung sich ganz besonders für solche Räume (Tunnels, Theater, Concertsäle, grosse Magazine u. s. w.) empfiehlt, welche von vielen Menschen besucht werden und in denen man die verlangte grosse Lichtfülle nur durch eine grosse Zahl starker Gasflammen erzeugen kann.[1])

Nehmen wir zu einem Vergleiche mit der Gasbeleuchtung eine gleiche Lichtstärke der Gasflammen mit 6 elektrischen Lampen an, so würden dieselben durch die Verbrennung ihrer Kohlenstäbe nicht mehr wie 2—3 Cubikfuss Kohlensäure erzeugen, während es berechnet worden ist, dass die gleiche Lichtmenge mit Gas erzielt, ca. 1500 Cubikfuss Kohlensäure entwickeln würde. Um den nöthigen Sauerstoff herbeizuführen und die Temperatur auf einem erträglichen Punkte zu erhalten, müssten in dem Falle ca. 25000 Cubikfuss frische Luft per Minute in den geschlossenen Raum hineinströmen.

[1]) Vgl. E. Z. 1881, p. 219.

Die genannte chemische Verbindung, welche beim Brennen des Gases Statt findet, hat aber noch einen andern Nachtheil; sie erzeugt nicht bloss das gewünschte Licht, sondern zugleich auch Wärme, ja selbst in grösseren Räumen bei einer grösseren Anzahl von Gasflammen und mangelhafter Ventilation nicht selten eine unangenehme, drückende Hitze.[1]) Ganz anders wirkt der elektrische Flammenbogen, obgleich seine Temperatur die höchste ist, die wir auf Erden erzeugen können und alle uns bekannten Stoffe in demselben schmelzen oder in Dampf aufgehen. Man schätzt die Temperatur des Flammenbogens auf mindestens 2500 Grad, während die der Gas- oder Oelflammen kaum 800 oder 900 Grad beträgt, und doch zeigt die Erfahrung, dass die Gasflammen den Raum weit stärker erwärmen, als es bei bedeutend stärkerer Lichtentwickelung durch den elektrischen Flammenbogen geschieht. Der Grund hierzu liegt einestheils darin, dass das elektrische Licht im Verhältnisse zu der Ueberfülle an Licht nicht reich ist an Wärmestrahlen, wie denn das Strahlungs-

---

[1]) Seit zwei Monaten — schreibt die Wiener „Neue Freie Presse" in ihrer Nummer vom 19. April 1880 — wird der Setzersaal unserer Druckerei mit elektrischem Lichte beleuchtet, welches sich so vollständig bewährt, dass unsere Typographen es fortan als ein Unglück betrachten würden, wenn sie diese Beleuchtungsart künftig entbehren sollten. Durch acht elektrische Differential-Lampen (von *Siemens & Halske*), welche von einer einzigen Wechselstrom-Maschine durch eine Leitung genährt werden, wird volle Tageshelle in dem rechtwinkelig gelegenen Saale verbreitet, welcher bisher mit 80 Gasflammen beleuchtet wurde. Die hellere Beleuchtung ist aber nicht der Hauptgewinn, welchen die Setzer von der neuen Einrichtung schöpfen — die vorzüglichste Annehmlichkeit ist die gleichmässige, angenehme Temperatur, die jetzt in dem geräumigen Saale herrscht und an Stelle der oft unerträglichen und gesundheitsschädlichen Hitze getreten ist, welche bis vor Kurzem durch die grosse Zahl der zur Beleuchtung erforderlichen Gasflammen verbreitet ward. Noch ein Umstand mag hier Erwähnung finden, welcher in Fällen dem elektrischen Lichte den Vorzug einräumen dürfte, und zwar ist dieses die fast absolute Feuergefahrlosigkeit, welche hierbei dadurch erzielt wird, dass zur Entzündung der Lampen keinerlei Zündstoff nöthig ist.

Vermögen einer Wärmequelle überhaupt nicht durch die Temperaturhöhe allein bedingt ist, anderntheils darin, dass bei den Gasflammen sowohl die heissen Verbrennungsproducte, als auch eine grosse Quantität stark erhitzter Luft mit grosser Geschwindigkeit sich in beständiger aufsteigender Bewegung befindet, die bei mangelnder Ventilation bald den ganzen Raum erfüllt, während bei dem elektrischen Flammenbogen die Verbrennungsproducte ganz fehlen und auch die umgebende Luft nur sehr wenig in Bewegung gesetzt wird.

Herr *C. W. Siemens* stellt einen sehr interessanten Vergleich der erwärmenden Wirkung des Gases und der des elektrischen Lichtes mit folgenden Worten an: „Die folgende einfache Calculation, welche auf angeführten Versuchen basirt ist, wird den relativen Heizeffect der beiden in geschlossenen Räumen aufgestellten Lichtquellen zeigen. Um ein elektrisches Licht von 4000 Normalkerzen zu erzeugen, braucht man einen Strom von 34 *Weber*, welcher gegen 130 Wärme-Einheiten pro Minute hervorbringt. Um dieselbe Lichtmenge durch Gas zu erzielen, sind 200 *Argand*-Brenner à 16 Cubikfuss erforderlich, welche 15 000 Wärme-Einheiten repräsentiren. Hinzuzufügen ist noch einige Wärme, welche in dem elektrischen Flammenbogen durch die Verbrennung von 6,3 Grains Kohlenelektroden erzeugt wird. Die totale von dem elektrischen Lichte erzeugte Wärmemenge beträgt daher 130 + 12,5 = 142,5 Wärme-Einheiten pro Minute oder fast 1 % der Wärme, welche von derselben durch Gas erzeugten Lichtmenge entwickelt wird.

Der grosse Reichthum des elektrischen Lichtes an blauen, violetten und ultravioletten Strahlen macht dasselbe für photographische Arbeiten besonders geeignet. Wir erwähnten schon bei der Beschreibung der *Wilde*'schen Maschine (S. 73), dass die umfangreichen photographischen Ateliers von *Woodbury* und von *Saxon & Cie.* in Manchester sich des elektrischen Lichtes bedienten, um mittelst desselben auch zur Nachtzeit

und bei trübem Wetter das Druckverfahren zu beschleunigen. Gegenwärtig sind die dynamo-elektrischen Lichtmaschinen bei den Photographen schon sehr zahlreich in Anwendung; sie gestatten, unabhängig von den Witterungs-Verhältnissen und den Tagesstunden, zu jeder Zeit photographische Aufnahmen zu machen, und sie sind im Stande, bei dem sogenannten Vergrösserungsverfahren das Licht der Sonne zu ersetzen.

Die grosse Menge der blauen und chemischen Strahlen im elektrischen Lichte, von denen sein Werth für die Photographie abhängt, liess auch erwarten, dass das elektrische Licht das Wachsthum der Pflanzen fördere. Um dieses festzustellen, beleuchtete *William Siemens*[1]) ein Treibhaus mit kräftigen elektrischen Lampen und fand, dass selbst bei ungünstigen Verhältnissen, wo das Treibhaus von aussen beleuchtet wurde und die mit Feuchtigkeit stark bedeckten Glasscheiben die Wirkung des Lichtes auf die Pflanzen bedeutend abschwächten, das elektrische Licht noch stark genug sei, Chlorophyll und verwandte Körper in den Pflanzen zu bilden. Bessere Resultate wurden jedoch erzielt, wenn das Treibhaus von innen in angemessener Weise beleuchtet wurde.

Die hierauf bezüglichen Resultate fasst *Siemens* wie folgt zusammen:

1) „Dass elektrisches Licht die Bildung von Chlorophyll in den Blättern der Pflanzen und die Förderung des Wachsthums bewirkt;

2) dass ein elektrisches Licht von 1400 Kerzenstärken, in eine Entfernung von 2 m von wachsenden Pflanzen gebracht, sich in der Wirkung als der des durchschnittlichen Tageslichtes gleichkommend erweist, dass aber eine höhere Wirkung mit kräftigeren Lichtern erreicht werden könnte;

3) dass die Kohlensäure und die Stickstoff-Verbindungen, welche im elektrischen Lichtbogen in sehr kleinen Quantitäten erzeugt werden, einen schädlichen Einfluss auf Pflanzen, welche in dem nämlichen Raume mit demselben eingeschlossen sind, nicht äussern;

---

[1]) Z. f. a. E. 1880, p. 135. E. Z. 1880, p. 128. Ueber den Einfluss des elektrischen Lichtes auf das Wachsthum der Pflanzen und über einige dabei in Betracht kommende physikalische Sätze.

4) dass die Pflanzen keine Ruhezeit während der 24 Stunden eines Tages zu bedürfen scheinen, sondern dass vermehrtes und kräftigeres Gedeihen eintritt, wenn dieselben während des Tages dem Sonnen- und während der Nacht dem elektrischen Lichte ausgesetzt werden;

5) dass die strahlende Wärme starker elektrischer Lichtbogen dazu verwendet werden kann, um dem Einfluss des Nachtfrostes entgegen zu wirken und wahrscheinlich das Ansetzen und Reifen der Früchte in freier Luft fördern wird;

6) dass die Pflanzen unter dem Einflusse des elektrischen Lichtes, ohne zusammenzufallen, erhöhte Treibhauswärme ertragen können, ein Umstand, der dem künstlichen Treiben derselben durch elektrisches Licht günstig ist;

7) dass die Kosten der Elektro-Hortikultur hauptsächlich von dem Preise der mechanischen Kraft abhängen und sehr gering sind, wenn natürliche Kraftquellen, wie Wasserfälle, dienstbar gemacht werden können."

Die Schlüsse *Siemens* wurden bestätigt durch die Beobachtungen *Schübeler's* (Nature 1880, 29. Jan.) über die Wirkung des ununterbrochenen Sonnenlichtes auf Pflanzen in arktischen Regionen. Demnach sind die Pflanzen nicht nur befähigt, ohne Unterbrechung zu wachsen, sondern entwickeln auch unter dem Einflusse eines continuirlichen Lichtes prächtigere Blumen und grössere aromatischere Früchte, als unter dem Einflusse von abwechselnder Wirkung von Licht und Finsterniss, während die Zuckerbildung hauptsächlich von der Wärme abhängt. Somit ist der Anwendung des elektrischen Lichtes wiederum ein neues Gebiet eröffnet. Ein weiteres ergibt sich aus den interessanten Untersuchungen, welche Professor *Cohn* in Breslau über die Wirkung des elektrischen Lichtes auf das menschliche Auge anstellte[1]) und welche bewiesen, dass die elektrischen Lichtstrahlen eine vier- bis sechsmal grössere Erkennbarkeit von farbigen Signalen als Tages- resp. Gaslicht darbieten; es unterliegt also keinem Zweifel, dass die elektrische Beleuchtung auch im Bereiche des Eisenbahn- überhaupt des Signalwesens eine sich immer mehr steigernde Anwendung finden wird. Die Sicherheit des reisen-

[1]) Vgl. E. Z. 1881, p. 219.

den Publicums wird durch sie erhöht und die eventuellen Verluste der Bahnverwaltungen vermindert werden.

Auch ist constatirt, dass unter günstigen Umständen mit Hülfe des elektrischen Lichtes eine optische Correspondenz selbst auf die ungeheure Entfernung von 300 km bewerkstelligt werden kann, wonach dasselbe der optischen Telegraphie, welche eben jetzt viel von sich reden macht, von Nutzen sein dürfte.

Wenn schon die vorhin geschilderten Vorzüge des elektrischen Lichtes demselben eine grosse Verbreitung hätten schaffen müssen, so war es vor allem der bedeutsame Vorzug einer empfehlenden Oekonomie, welcher die Verbreitung des elektrischen Lichtes begünstigte und die Concurrenz desselben mit dem Gaslichte ermöglichte.

Diese Behauptung mag aus den folgenden Erörterungen erhellen, welche der Leser mit Hülfe der angegebenen Literatur leicht ergänzen kann.[1])

120. Kosten des elektrischen Lichtes. Wir haben gefunden (§. 71), dass das elektrische Licht, welches von einer Lichtmaschine erzeugt und von einem Flammenbogen oder einer *Jablochkoff*'schen Kerze ausgestrahlt wird, auf Kosten derjenigen mechanischen Arbeit entsteht, welche die Betriebsmaschine verbraucht, um die Lichtmaschine in Thätigkeit zu versetzen. Man kann aber dasselbe Licht auch durch galvanische Batterien erzeugen, und es fragt sich zunächst, welches von beiden Verfahren am billigsten ist, der Aufwand an mechanischer Arbeit in einer Maschine oder der Verbrauch von Zink und Säuren in einer Batterie.

Die ersteren Arbeitsleistungen erzeugen wir in einer

[1]) Vgl. die ausführlichen Erörterungen in der Z. f. a. E. 1879, p. 22; 1880, p. 84, 108, 125, 197, 292; in *Dingler's* P. J. Bd. 237, p. 169, und in *Fontaine*, Die elektrische Beleuchtung, p. 224 u. f., sowie die bezüglichen Artikel in *R. v. Wagner's* Jahresbericht über die Leistungen der chemischen Technologie.

Dampfmaschine durch die Verbrennung von Kohle, den Strom in einer Batterie durch Verbrennung (Oxydirung etc.) von Zink in Schwefelsäure oder in ähnlicher Art. Nun erzeugt nach *Silbermann* und *Favre* die Verbrennung von 1 g Kohle in Sauerstoff 8 Wärme-Einheiten, dagegen die Auflösung von 1 g Zink in Schwefelsäure nur 0,55 Wärme-Einheiten. Zur Erzeugung einer gleichen Wärmemenge gebraucht man also bei dem letzten Verfahren mehr als 14 g Zink, wo 1 g Kohle hinreicht. Das Zink kostet aber etwa 15mal so viel als Kohle; mithin kostet, wenn man den Verbrauch an Säure gar nicht in Rechnung zieht, eine Wärme-Einheit durch Auflösung von Zink reichlich 210mal so viel, als durch Verbrennung von Kohle. Die mechanische Arbeit aber in der Dampfmaschine, wie der galvanische Strom in der Batterie kommen beide zum Vorschein durch die Umsetzung der Wärme, und daher ist es weit billiger, den galvanischen Strom zu erzeugen vermittelst der mechanischen Arbeit einer Dampfmaschine, welche sich in einer magnet- oder dynamo-elektrischen Maschine stets in Elektricität und Magnetismus umsetzt, als durch Auflösen von Zink in den Säuren einer galvanischen Batterie.

In ähnlicher Art gestaltet sich die Rechnung, wenn man zum Betriebe der Lichtmaschine einen Gas- oder Petroleum-Motor oder eine Heissluftmaschine anwendet. Im Allgemeinen lässt sich also sagen, dass eine mechanische Arbeit sich durch den Aufwand von Kohle billiger erzeugen lässt, als durch die in den Batterien erzeugte Elektricität, und wenn es daher entschieden ungünstig ist, die kostspielige Batterie-Elektricität zur Erzeugung von mechanischer Arbeitsleistung, etwa behufs Ersetzung der Dampfmaschine, zu verwenden, so ist es dagegen durchaus vortheilhaft, die mechanische Arbeit zur Erzeugung der theuren Elektricität zu verwenden.

A. Nach *Edm. Becquerel* erhielt man mit 60 *Bunsen*'schen Elementen von 20 cm Höhe während drei Stunden

Anfangs ein Licht gleich 75 und gegen Ende ein solches von 30 Carcel-Brennern bei einer mittleren Ausgabe von fr. 2,50 per Stunde; unter Einrechnung des Verbrauches an Quecksilber und Säure war jedoch der Gesammtverbrauch in der Batterie zu fr. 3 per Stunde anzunehmen.

Dieses Resultat wurde nach *Fontaine* durch directe Beobachtungen bestätigt, die im Jahre 1857 in Lyon zu dem Zwecke angestellt wurden, um die Rue impériale (jetzt Rue de Lyon) zu beleuchten. Die Lampe nach dem System *Lacassagne & Thiers* wurde durch 60 *Bunsen*'sche Elemente während 100 Stunden gespeist; die Kosten stellten sich wie folgt:

Bezeichnung der Materialien.	Verbrauch in 100 Stunden.	Einzelpreis.	Gesammtkosten Frcs.	Kosten per Stunde. Frcs.	Bemerkungen.
Zink	72,00 kg	Frcs. 104 per 100 kg	74,95	0,75	Frcs. 80 per 100 kg
Schwefelsäure	154,00 „	„ 24 „ 100 „	36,95	0,37	„ 12 „ 100.
Salpetersäure	247,00 „	„ 70 „ 100 „	173,25	1,73	„ 56 „ 100,
Quecksilber	9,50 „	„ 550 „ 100 „	49,75	0,50	„ 650 „ 100.
Gereinigte Kohlen	6,61 m.	„ 3 „ m.	19,85	0,20	„ 2,5 „ m.

Unter Berücksichtigung der angegebenen Preise der Materialien erhält man als Kosten der mittleren Lichtstärke von 50 Carcel-Brennern ebenfalls 3 fr. per Stunde, einen Werth, den man wohl überhaupt als das Minimum der Kosten des elektrischen Lichtes von 50 Carcel-Brennern betrachten darf, wenn man zu seiner Erzeugung sich einer galvanischen Batterie bedient.

Anders stellt sich die Sache, wenn das Licht auf mechanischem Wege erzeugt wird. Die Frage, wie theuer hier 100 Carcel-Brenner zu stehen kommen, beantwortet sich im Allgemeinen nach §. 118 dadurch, dass man sagt, zu ihrer Herstellung sei eine Pferdekraft erforderlich und eine Pferdekraft koste so und so viel. In der Wirklichkeit aber muss

dann noch Rücksicht genommen werden auf die Kosten der Maschinen, die Verzinsung und Amortisation aller mit der Anlage verbundenen Auslagen und auf die Unterhaltung, Bedienung, Ueberwachung u. s. w., hauptsächlich aber auf den Umstand, ob zum Betriebe der elektrischen Lichtmaschine ein besonderer Motor beschafft werden muss, oder ob die nöthige Betriebskraft von einem bereits vorhandenen Motor entnommen werden kann. Es liegen gegenwärtig schon mehrere Reihen von solchen der Erfahrung entnommenen Kostenberechnungen vor, welche ziemlich alle Fälle umfassen, die bei der praktischen Anwendung der elektrischen Beleuchtung vorkommen können; es kommt aber auch hier, wie bei allen Rentabilitäts-Berechnungen, häufig auf eine geschickte Gruppirung der Zahlen an, um das Resultat in einem mehr oder weniger günstigen Lichte erscheinen zu lassen, wie denn die Gastechniker die Kosten des elektrischen Lichtes in der Regel zu hoch, die Elektriker dagegen zu niedrig anzugeben pflegen.

B. *Reynaud* hat die Data veröffentlicht, welche er bei der Erzeugung des elektrischen Lichtes auf Leuchtthürmen erhielt, und *Le Roux* gruppirt dieselben in seiner Weise folgendermaassen: (Soc. d'enc. t. XIV, p. 776.)

a. Kosten der ersten Einrichtung:

Zwei magnet-elektrische Maschinen mit 4 Scheiben (§. 15)	fr. 16 000
Zwei Dampfmaschinen mit Zubehör	„ 6 000
Zwei Regulatorlampen und Aufstellung	„ 3 000
Linsen-Apparat, Laternen u. s. w.	„ 3 000
Summa	fr. 28 000

b. Kosten per Stunde

(unter der Annahme von 4000 Stunden Beleuchtung per Jahr):

Zinsen und Amortisation des Anlage-Capitals	fr. 0,70
10 kg Kohlen für die Dampfmaschine, à fr. 40 per Tonne	„ 0,40
Zwei Heizer à fr. 2800 per Jahr, macht per Stunde	„ 0,70
Zwei Aufseher à „ 2000 „ „ „ „ „	„ 0,50
Kohlenstäbe, 16 cm per Stunde incl. Abfall, à fr. 2,25 per Meter	„ 0,36
Schmieren, Unterhaltung u. s. w.	„ 0,13
Summa	fr. 2,79

Da die mittlere Lichtstärke des zum Horizonte gehenden Lichtes, also ausserhalb der katadioptrischen Apparate, 3500 Carcel-Brenner betrug, so stellen sich die Kosten des Lichtes von 1 Carcel-Brenner auf dem Wege zum Horizonte auf

$$\text{fr.}\,\frac{2{,}79}{3500} = \text{cts.}\,0{,}079.$$

Ein Vergleich mit den Kosten der Oelbeleuchtung ergibt:

Leuchtthurm.	Kosten für 1 Stunde. Frcs.	Lichtstärke zum Horizonte. Bec-Carc.	Kosten der Einheit des zum Horizonte gehenden Lichtes. Cts.	Lichtstärke der Lampe. Bec-Carc.	Kosten der Einheit des Lichtes in der Lampe Cts.
I. Classe:					
Mit Oel-Licht ..	3,70	630	0,58	23	16
Mit elektrischem Lichte	2,79	3500	0,079	123	2,2
			0,58 : 0,079 = 7,3.		16 : 2,2 = 7,2

Hiernach sind die täglichen Kosten eines Leuchtthurmes I. Classe bei elektrischem Lichte kleiner als bei Oelbeleuchtung, und zwar im Verhältnisse von 3 : 4, während die Lichtmengen sowohl in der Lampe als auf dem Wege zum Horizonte recht bemerkbar sich verhalten wie 5 : 1. Die Einheit des Lichtes kostet also im Mittel bei der elektrischen Beleuchtung 7mal so wenig als bei Anwendung von Oel-Licht.

Da bei den Leuchtthürmen die Sicherheit des Dienstes die Hauptsache ist, und jede Unterbrechung des Lichtes selbst auf wenige Augenblicke strenge vermieden werden muss, so müssen alle zur Beleuchtung dienenden Apparate. Dampfmaschinen, Lichtmaschinen, Lampen u. s. w. doppelt vorhanden sein; ebenso müssen zweimal so viel Mannschaften zur Bedienung angestellt werden, als es unter anderen Umständen erforderlich wäre. Bei den industriellen Anlagen fällt diese Rücksicht weg und die Kosten der elektrischen Beleuchtung reduciren sich dann auf die Hälfte und selbst auf ein Drittel. Wo bereits zu anderen Zwecken eine Dampf-

maschine vorhanden ist, stellen sich diese Unkosten noch niedriger, doch ist in allen Fällen die erste Bedingung einer ökonomischen Anwendung des elektrischen Lichtes, dass dasselbe täglich mehrere, etwa 10 Stunden lang unterhalten werde.

Die nachstehenden Tabellen enthalten die Kosten eines Lichtes von 125 Carcel-Brennern für 4 verschiedene Fälle (das Jahr zu 360 Arbeitstagen gerechnet).

1) Im ungünstigsten Falle.

(Die Dampfmaschine, welche die magnet-elektrische Maschine treibt, wird nicht anderweitig verwendet und erfordert also einen besondern Heizer.)

Für einen Dienst von zehn Stunden täglich.

10 % Amortisation von fr. 12 000 Anlage-Capital, per Tag	fr. 3,35
100 kg Kohlen, à fr. 40 per Tonne	„ 4,00
Heizerlohn	„ 5,00
Kohlenstäbe	„ 3,60
Schmieren u. s. w.	„ 1,30
Tägliche Ausgabe....	fr. 17,25

Für einen Dienst von fünf Stunden täglich.

10 % Amortisation des Anlage-Capitals von fr. 12 000 per Tag	fr. 3,35
50 kg Kohlen, à fr. 40 per Tonne	„ 2,00
Heizerlohn	„ 5,00
Kohlenstäbe	„ 1,80
Schmieren u. s. w.	„ 0,70
Tägliche Ausgabe....	fr. 12,85

2) Im günstigsten Falle.

(Die Betriebskraft wird einem hinreichend starken Motor entnommen, der schon für andere Zwecke vorhanden ist.)

Für einen Dienst von zehn Stunden täglich.

10 % Amortisation von fr. 9000 per Tag	fr. 2,50
40 kg Kohlen, à fr. 40 per Tonne	„ 1,60
Kohlenstäbe	„ 3,60
Schmieren u. s. w.	„ 0,70
Tägliche Ausgabe....	fr. 8,40

Für einen Dienst von fünf Stunden täglich.

10 % Amortisation von fr. 9000 per Tag	fr. 2,50
20 kg Kohlen, à fr. 40 per Tonne	„ 0,80
Kohlenstäbe	„ 1,80
Schmieren u. s. w.	„ 0,40
Tägliche Ausgabe....	fr. 5,50

C. Eine andere Reihe von Daten über die Betriebskosten bei der elektrischen Beleuchtung hat *Fontaine* für die Anwendung der *Gramme*'schen dynamo-elektrischen Maschinen mitgetheilt, wobei zuerst angenommen wird, dass sich ein Motor vorfindet, der hinreichend stark ist, um durch das Anhängen von ein paar Lichtmaschinen nicht wesentlich beeinflusst zu werden.

Mit Verpackung, Transport und den Kosten der Aufstellung kostet ein completer Apparat, bestehend aus der dynamo-elektrischen Maschine, einer Regulatorlampe und den Leitungsdrähten in Frankreich und den angrenzenden Ländern höchstens fr. 2500. Die Kohlenstäbchen kosten fr. 2 per Meter und ihre Abnutzung beträgt incl. der Abfälle 8 cm per Stunde.

Bei einer Betriebszeit von 100 Tagen im Jahre à 5 Stunden täglich und bei 4 Apparaten in derselben Fabrikanlage sind die jährlichen Ausgaben bei Benutzung einer Dampfmaschine:

4000 kg Kohlen, à fr. 35 per Tonne	fr.	140
160 m Kohlenstäbe à fr. 2	„	320
Unterhaltung der Apparate, à fr. 0,50 per St.	„	250
10% Amortisation von fr. 10 000	„	1100
Summa...	fr.	1810

Bei Benutzung einer Wasserkraft reduciren sich diese Ausgaben um fr. 140; bei einer Arbeitszeit von 4000 Stunden im Jahre werden die Ausgaben natürlich geringer.

Die Kosten von 1 Carcel-Brenner betragen hiernach per Stunde bei einer Maschine von 150 Brennern:

bei	500	Stunden Betrieb mit	Dampfkraft	fr.	0,0070
„	500	„ „ „	Wasserkraft	„	0,0066
„	4000	„ „ „	Dampfkraft	„	0,0023
„	4000	„ „ „	Wasserkraft	„	0,0018

Mit der neuen Maschine *Gramme* (Modell 1877) und mit

Gaudoin'schen Kohlen reducirt sich der Preis der Lichteinheit per Stunde auf 40%; dieselbe kostet dann

bei 500	Stunden per Jahr mit	Dampfkraft..	fr. 0,0042
„ 500	„ „ „ „	Wasserkraft..	„ 0,0040
„ 4000	„ „ „ „	Dampfkraft..	„ 0,0016
„ 4000	„ „ „ „	Wasserkraft..	„ 0,0011

Diese in der Praxis gewonnenen Zahlen sind eher zu hoch als zu niedrig gegriffen, doch beziehen sie sich sämmtlich auf die Fälle, in denen nicht ein besonderer Motor zum Betriebe der Lichtmaschinen angeschafft zu werden braucht.

Für die Fälle, in denen bei Anwendung von *Gramme*'schen dynamo-elektrischen Maschinen ein besonderer Motor (Dampfmaschine) angeschafft werden muss, geben die in der Eisengiesserei von *Heilmann* in Mülhausen angestellten Untersuchungen einige Anhaltspuncte. Es arbeiten dort 4 Lichtmaschinen, welche 800 Touren in der Minute machen und eine Lichtstärke von zusammen 320 Carcel-Brennern geben.

Jede Lampe verbrennt im Mittel 12,5cm Kohlenstäbe per Stunde; rechnet man 1m Kohle zu fr. 1,75, so beträgt dieser Verbrauch fr. 0,22 per Lampe und Stunde.

Die Dampfmaschine liefert zum Betriebe der 4 Lichtmaschinen eine Arbeit von 8,023 Pferdekräften, wenn Alles im Gange ist. Rechnet man für jede Pferdekraft 1,50kg Kohlen per Stunde, die Kohlen zu fr. 3 per 100kg, so betragen die Kosten für den Betrieb einer Lichtmaschine per Stunde

$$\frac{8{,}023 \times 1{,}50 \times 3}{4 \times 100} = \text{fr. } 0{,}09.$$

Die Ueberwachung des Betriebes besorgt ein Mann à fr. 3 per Tag (à 10 Stunden); das macht an Aufsicht per Lampe und Stunde

$$\frac{3}{10 \times 4} = \text{fr. } 0{,}075.$$

Die gesammten Kosten des Betriebes sind daher für eine Maschine *Gramme* und Lampen per Stunde:

für eine Lampe...............	fr. 0,22
„ „ Lichtmaschine.........	„ 0,09
„ Ueberwachung	„ 0,075
Zusammen...	fr. 0,385

Zur Berechnung der Verzinsung und der Amortisation des Anlagecapitals dienen folgende Zahlenangaben.

Die 4 Lichtmaschinen, jede nominel zu 100 Carcel-Brennern, 800 Touren per Minute, einschliesslich der Transmission, der Leitungsdrähte und der Lampen kosten fr. 9000
Antheil an Dampfkraft für 8 Pferdekräfte...... „ 8000

Gesammtkosten der Anlage.. fr. 17000
Hiervon 15% für Zinsen, Amortisation, Abnutzung fr. 2550

Bei einer mittleren Beleuchtungsdauer von 500 Stunden kostet die Beleuchtung, wie vorhin berechnet wurde, für vier Lampen (ohne Verzinsung u. Amortisation) 4 × 0,385 = fr. 1,540
für vier Lampen also per Stunde mit Zinsen .... „ 6,64

Hieraus ergeben sich die Gesammtkosten des Betriebes für vier Maschinen *Gramme* mit vier Lampen per Stunde, nämlich:

Eigentliche Betriebskosten.

Kohlenstäbe für vier Lampen...........	fr. 0,88
Dampfkraft für vier Maschinen.........	„ 0,36
Ueberwachung......................	„ 0,30
	fr. 1,54

Zinsen und Amortisation.

15% Zinsen und Amortisation von fr. 17000 Installationskosten, vertheilt auf 500 Stunden jährlichen Betriebes	fr. 5,10
Gesammtkosten der Beleuchtung per Stunde für vier Lampen........	fr. 6,64

Wollte man für vorliegende Anlage einen Vergleich der

Kosten für die Beleuchtung der Giesserei mit elektrischem Lichte und mit Gaslicht anstellen, so käme man zu folgenden Resultaten:

Bei Gasbeleuchtung: 442 Gasbrenner, kostend
ohne Zinsen und Amortisation per Stunde fr. 11,05
mit „ „ „ „ „ „ 15,03

Bei elektrischem Lichte: Aequivalent der Lichtstärke der vier Lampen = 442 Gasbrennern
ohne Zinsen und Amortisation per Stunde fr. 1,54
mit „ „ „ „ „ „ 6,64

Es folgt hieraus, dass bei gleicher Lichtstärke das elektrische Licht weniger kostet als das Gaslicht, und zwar im Verhältnisse von 1 : 2,26, wenn man Zinsen und Amortisation mit in Rechnung zieht, und im Verhältnisse von 1 : 7,17, wenn man diese unberücksichtigt lässt. Man sieht übrigens hieraus, wie bedeutend die Beträge für Zinsen und Amortisation des Anlagecapitals die Kosten des elektrischen Lichtes erhöhen; dieselben werden jedoch geringer, wenn man die jährlichen Betriebsstunden vergrössert, wenn man statt der Dampfkraft eine billigere Wasserkraft anwendet, wenn die Lichtmaschinen durch Entlastung von den Patentrechten und in Folge einer allgemeineren Verbreitung billiger werden.

D. Weitere Erfahrungs-Resultate über die Kosten des elektrischen Lichtes hat *Becker*, Besitzer der Eisengiesserei in Firma *Gebr. Meer* in M.-Gladbach, veröffentlicht. In dem Spinnereisaale von *Swagemakers & Zoonen* in Tilburg, 55m lang, 25m breit, 1325qm Grundfläche bei 5m Höhe, hat derselbe die Beleuchtung mit elektrischem Lichte (System *Gramme)* eingerichtet. Drei elektrische Lampen geben mehr als hinreichend Licht, um alle Arbeiten im Saale vorzunehmen; es beleuchtet also hier eine Lampe 440qm Fläche, und es würden mindestens 40 Gasflammen erforderlich sein, um nur annähernd dieselbe Helligkeit zu erzeugen.

Da überflüssige Betriebskraft vorhanden war, so haben die Anlagekosten für eine Lampe, von den ratirlichen Kosten des Motors abgesehen, mit allen zum Betriebe erforderlichen Einrichtungen *M* 1500 betragen. Hiervon Zinsen und Amortisation 15 % per Jahr zu 500 Stunden, während welcher bei Licht gearbeitet wird,

für Verzinsung und Amortisation des Anlagecapitals per Lampe und Stunde..........	*M* 0,45
80 mm Kohlenstäbe per Stunde und Lampe à *M* 2 per Meter......................	„ 0,12
an Betriebskraft der Lichtmaschinen 2 Pferdekräfte; die Pferdekraft zu 1,5 kg Kohlen à *M* 1,20 per 100 kg die Stunde gerechnet	„ 0,03
Kosten per Lampe und Stunde ..	*M* 0,60

Die Kosten für eine gleichwerthige Beleuchtung durch 40 Gasflammen für die Gladbacher Verhältnisse, wo 1 cbm Gas *M* 0,16 kostet, wurden folgendermaassen ermittelt:

Eine mechanische Weberei daselbst hatte an Gas *M* 3140 bis 3150 gezahlt und während dieser Zeit 250 Gasflammen mit 90 585 Stunden Brennzeit im Betriebe. Diese Kosten betrugen also für 1 Flamme und 1 Stunde *M* 0,034.

Demnach sind die Kosten an Gas für 40 Flammen und 1 Stunde	*M* 1.38
Die Installationskosten für 40 Gasflammen betragen *M* 1000; davon Zinsen und Amortisation 15 % per Jahr zu 500 Stunden Brennzeit macht..	„ 0.30
Zusammen...	*M* 1,68

wonach sich die Kosten einer elektrischen Lampe zu einer gleichwerthigen Beleuchtung durch Leuchtgas verhalten wie 0,60 : 1,68 oder wie 1 : 2,8, welches Resultat mit dem von *Heilmann* ermittelten ziemlich nahe übereinstimmt.[1])

[1]) Vgl. *Fontaine,* Die elektrische Beleuchtung. Kosten der Beleuchtung in einer Weberei, p. 233, und in einem Maschinen-Montirraum, p. 234.

E. Die Kostenberechnung, welche der Vertreter der Firma *Siemens & Halske* in Berlin, der Civil-Ingenieur *C. J. Langen* in Köln bei Anwendung der *Siemens*'schen dynamo-elektrischen Lichtmaschinen aufgestellt hat, ist folgende:

Unter der Annahme, dass ein grosser Raum von ca. 2000 qm zu beleuchten sei, werden vier Lichtmaschinen mit vier Lampen erforderlich sein.

Es kosten vier kleine dynamo-elektrische Maschinen nebst Lampen und Aufstellung ca.	ℳ 6 000
Ist keine Betriebskraft vorhanden und nimmt man dazu einen Gasmotor von 8 Pferdekräften	„ 4 600
Anlagekosten...	ℳ 10 600

Die vier Lichtmaschinen geben eine Lichtstärke von ca. 8000 Normalkerzen oder ca. 660 gut brennenden Gasflammen. Bei einer täglichen Brennzeit von durchschnittlich 4 Stunden, also einer jährlichen von 1500, würden zu rechnen sein

15 % Zinsen und Amortisation	per	Stunde	Brennzeit	ℳ 1,10
für Kosten der Betriebskraft	„	„	„	„ 1,00
Verbrauch an Kohlenstäben für vier Lampen	„	„	„	„ 0,80
für sonstige Nebenkosten.....	„	„	„	„ 0,50
Kosten des elektr. Lichtes für 1 Stunde in Summa				ℳ 3.40

Derselbe Raum wird bei Anwendung von 300 Gasflammen nur spärlich erleuchtet und es stellen sich dafür, die Flamme zu ℳ 20 gerechnet, die Kosten der Anlage auf ℳ 6000;

15 % Zinsen und Amortisation (bei 1500 Stunden Brennzeit) macht	per	Stunde	Brennzeit	ℳ 0,60
Minimal-Verbrauch an Gas...	„	„	„	„ 8,00
für sonstige Nebenkosten.....	„	„	„	„ 0,30
Kosten des Gaslichtes für 1 Stunde in Summa				ℳ 8,90

Hiernach verhalten sich für denselben Raum die Kosten der elektrischen Beleuchtung und des Gaslichtes wie 3,40 : 8,90 oder wie 1 : 2,7, was wieder mit den vorhin erhaltenen Resultaten von *Becker* und *Heilmann* nahe übereinstimmt.

F. Von Interesse ist auch die Betriebskosten-Berechnung des Herrn Ober-Ingenieurs *Graff* in München, welche sich auf die Beleuchtungs-Anlage des Münchener Bahnhofes (45 *Siemens*'sche Differential-Lampen bei Gasmotoren-Betrieb) bezieht und deutlich zeigt, dass selbst unter ungünstigen Annahmen bei genauer Erwägung aller in Betracht kommenden Factoren die Kosten der elektrischen Beleuchtung billiger als diejenigen der Gasbeleuchtung zu stehen kommen. Die Jahreskosten für diese betragen nämlich ℳ 22 100,50, für jene ℳ 17 500,00 bei 500 Brennstunden jährlich; demnach verhalten sich die Kosten der beiden Beleuchtungs-Systeme wie 17 500 zu 22 100,50, oder wie 1 : 1,265. Da sich nun, sobald genügende Deckung für das Auge durch Glasballons in Rechnung gebracht wird, die Lichtstärke des elektrischen Lichtes zu der des Gaslichtes wie 1,458 : 1 verhält, so ergibt sich bei gleicher Lichtstärke für die beiden Beleuchtungen das Verhältniss 1 : 1,844.[1]) Wenn dasselbe im Vergleiche zu den früheren Angaben ungünstiger lautet, so erklärt sich dieses in Folge der sehr kurz bemessenen Brenndauer. Auch sind die hohen Kosten in der kostspieligeren Brennkraft der Gasmotoren zu suchen. So ergab sich bei 1200 Stunden Brenndauer, dass die Beleuchtungskosten per Lampe und pro Stunde in dem englischen Seebade Blackpool[2]), dessen grosse Promenade mittelst sechs grosser *Siemens*'scher Lampen und sieben elektrischer Maschinen (eine in Vorrath) bei Dampfbetrieb beleuchtet wird, nur ca. 34 ₰ betragen, während sie im Münchener Bahnhofe für eine Brennstunde 78 ₰ betragen.[3])

[1]) Vgl. die Details Z. f. a. E. 1880, p. 84 u. ff.

[2]) Vgl. den eingehenden Bericht über Anlage und Unterhaltungskosten. Engineering 1880, Bd. 29, p. 312.

[3]) Ueber die Unkosten der elektrischen Strassen-Beleuchtung, welche als sehr hoch angegeben werden, fehlen noch genauere Angaben, welche eine allseitige Beurtheilung gestatten.

Die Kosten der elektrischen Beleuchtung mittelst *Jablochkoff*'scher Kerzen sind zwar bedeutender als diejenigen, welche bei Anwendung von Lampen entstehen, keineswegs aber höher als die des Gaslichtes. „Es zeigen“, sagt *Fontaine*[1], „die in den Werkstätten von *Ch. H. Carels Frères* in Gand erzielten Resultate, dass man in einer derartigen Werkstätte die Gasbeleuchtung durch die elektrische Beleuchtung selbst bei getheiltem Licht nicht allein ohne Mehrkosten ersetzen kann, sondern sogar mit einer wirklichen Ersparniss, ohne dabei von den Vortheilen zu reden, die sich aus der Erleichterung der Arbeit und Aufsicht ergeben und vor denen selbst ein bedeutender Mehraufwand für die Beleuchtung gerechtfertigt wäre.“ *Fontaine* entnahm ferner einer Broschüre der Société *Jablochkoff* folgende Stelle:

„Man kann annehmen, dass die Anschaffungskosten eines Apparates zur Darstellung elektrischer Beleuchtung, bestehend aus Dampfmaschine, Lichtmaschine und allen Neben-Apparaten sich wie folgt stellen:

für 16 Kerzen	....	fr. 16 000
„ 8 „	....	„ 10 500
„ 6 „	....	„ 9 000
„ 4 „	....	„ 8 500

oder im Mittel fr. 1300 per elektrischen Brenner.

Die Kosten für Leuchtgas-Installationen betragen in Paris im Mittel fr. 100 per Brenner.

Es folgt hieraus, dass die Installationskosten eines elektrischen Lichtes im ungünstigsten Fall, wo ein eigener Motor erforderlich ist, nicht mehr wie die von 13 Gasflammen betragen. In allen Fällen, wo ein elektrisches Licht 13 Gasflammen ersetzt, kommen somit seine Installationskosten, trotz der bedeutend grösseren Lichtstärke, nicht höher als die von 13 Gasflammen.

[1] *Fontaine*, l. c., p. 182.

Untersuchen wir jetzt, welches die Betriebskosten sind.

Nehmen wir an, es handelt sich um eine Installation von 16 elektrischen Lichtern, so setzen sich die Betriebskosten per Stunde aus folgenden Factoren zusammen:

16 Kerzen kosten je fr. 0,50 und brennen ungefähr 2 Stunden; somit:

Kosten der 16 Kerzen per Stunde .... fr. 4,00
Kohlen für die Dampfmaschine, 3/4 Pferdkraft per Licht, somit ungefähr 12 Pferdekraft à 2 kg und fr. 35 die Tonne .... „ 0,84
Oel und Putzfetzen .... „ 0,25
Salair des Heizers .... „ 0,60

fr. 5,69

Dies entspricht fr. 0,35 per Licht und Stunde.

In Werkstätten, wo schon Dampfmaschinen existiren. oder da, wo man hydraulische Kräfte benutzen kann, reduciren sich diese Kosten, welche man als ein Maximum ansehen kann, beträchtlich.

Es kostet nun 1 Gasflamme mit 140 Liter Consum à fr. 0,30 per Cubikmeter = fr. 0,042.

Die Kosten eines elektrischen Lichtes sind darnach ebenso gross wie die von ungefähr 8 Gasflammen. In allen Fällen, wo somit in der Beleuchtungszone eines elektrischen Lichtes. d. h. in einem Kreis von ungefähr 10m Radius sich 8 Gasflammen befinden, kann man selbe ohne Erhöhung der Kosten durch ein elektrisches Licht ersetzen und dabei bedeutend mehr Licht erhalten.

Die zu erzielende Ersparniss wird dabei um so rascher zunehmen, je weiter die Anzahl der ersetzten Gasflammen von dem erwähnten Minimum von 8 Brennern entfernt ist.

In den Grands Magazins du Louvre erzielt man durch die Anwendung der *Jablochkoff*'schen Kerzen eine Ersparniss von ungefähr 30 % gegenüber dem früheren Gasverbrauch, und hat dabei ein bedeutend schöneres und kräftigeres Licht.“

Wenn *Th. Lévy*, städtischer Ingenieur in Paris, die stündlichen Betriebskosten der 62 elektrischen Lichter in der Avenue de l'Opéra wie folgt:

Heizer für die Dampfmaschinen	fr.	3,20
Kohlen	„	6,64
Schmieröl	„	1,23
Taglohn des Ueberwachungs-Personals.	„	3,20
62 Kerzen à fr. 0,50	„	31,00
Summa..	fr.	45,27

ermittelt, wonach ein Licht per Stunde fr. 0,73 kostet, so ist zu entgegnen, dass die einzelnen Posten zu hoch gegriffen sein dürften. Brennen z. B. die Kerzen in der That 2 Stunden, so dürfen für dieselben keine fr. 31,00 gerechnet werden; indessen verzichten wir auf eine Correctur der Berechnung, da selbst nach ihr die Kosten eines elektrischen Lichtes denjenigen von ca. 17 Gasflammen gleichkommen, die letzteren aber nach den Erörterungen *Fontaine's* (vgl. p. 450) recht wohl durch eine *Jablochkoff*'sche Kerze ersetzt werden können. Obwohl darnach in beiden Fällen der Preis derselbe wäre, so würde das elektrische Licht bei seinen im §. 119 geschilderten Eigenschaften noch immer den Vorzug verdienen.

Neuerdings hat sogar die Société Générale d'Electricité den Preis zur Beleuchtung des Victoria Embankment auf 12 ₰ per Lampe und Stunde herabgesetzt. Anfangs kostete die Beleuchtung 50, dann 40, dann 34, darauf 20 und jetzt 12 ₰.

Schliesslich scheint auch die Oekonomie der Incandescenz-Beleuchtung eine allgemeinere Anwendung derselben zu gestatten. Konnte doch *J. W. Swan* in einer Sitzung der Society of Telegraph Engineers[1]) Folgendes behaupten: „dass die Incandescenz-Beleuchtung immerhin eine ökonomischere

---

[1]) Journal of The Society of Telegraph Engineers Nr. 34, Vol. IX.

und weniger kostspielige als die Gasbeleuchtung ist, wird entschieden bewiesen durch die Thatsache, dass 1000 Cubikfuss Gas in einer Gasmaschine verbrannt, einen elektrischen Strom zu entwickeln vermögen, welcher in einer Lampe verbraucht mehr Licht erzeugt als 1000 Cubikfuss Gas, wenn es in den gewöhnlichen Gasbrennern verbraucht wird. Dieses Local hier wird augenblicklich von 20 meiner elektrischen Lampen erleuchtet, und um den Strom, der sie versorgt, zu erzeugen, werden 160 Cubikfuss Gas pro Stunde in einer Gasmaschine verbrannt. Ehe meine Lampen angezündet wurden, war das Zimmer durch 70 Gasflammen erleuchtet, welche authentischen Nachrichten zufolge pro Stunde 280 Cubikfuss Gas verbrauchten. Es ist augenscheinlich, dass man mehr Licht aus diesen 160 Cubikfuss Gas durch das Medium der Elektricität gewinnt, als von jener grösseren Quantität, welche die Brenner consumiren. Nach sehr genauen Messungen bin ich berechtigt, zu sagen, dass wenigstens zweimal so viel Licht durch eine gewisse Quantität Gas, das zum Erzeugen eines in meinen Lampen verbrauchten Stromes dient, hervorgebracht wird, als von der nämlichen Quantität, das in Gasbrennern gebrannt wird. Wenn dem so ist, so ist es klar, dass, wenn man die mechanische Arbeit nicht durch eine Gasmaschine, sondern durch eine ökonomische Dampfmaschine erzeugt, diese Methode der elektrischen Beleuchtung weit billiger ist als Gasbeleuchtung."

Fügen wir dem Urtheile des Erfinders noch dasjenige eines Berichterstatters bei, der wohl *sine ira et studio* urtheilen dürfte. Die Rundschau der Z. f. a. E. 1881, p. 243, berichtet nämlich: „So weit man jetzt die Sache übersehen kann, erfordert die Erzeugung der Intensität einer Gasflamme auf dem Wege der Incandescenz-Beleuchtung etwa 0,1 P. S. Man wird also von einer Pferdekraft 15 Gasflammen thatsächlich ersetzen können. Die Leistungsfähigkeit der Incandescenz-

Beleuchtung in quantitativer Hinsicht beträgt sonach nur etwa 1/10 der Leistungsfähigkeit der elektrischen Bogenbeleuchtung; dafür gestattet dieselbe aber eine weitaus vortheilhaftere Ausnutzung der erzeugten Lichtmenge. Es scheint somit ausser Frage zu sein, dass die Incandescenz-Beleuchtung unter günstigen Bedingungen schon jetzt der Gasbeleuchtung erfolgreiche Concurrenz machen kann."

Wenn die elektrische Beleuchtung kraft der vielen Vorzüge und grösseren Oekonomie, welche sie vor der Gasbeleuchtung voraus hat, der letzteren Abbruch thut, so ist begreiflich, dass auf gewisser Seite kein Umstand unerörtert bleibt, welcher die weitere Verbreitung des elektrischen Lichtes hemmen könnte. So spricht man insbesondere von

121. Der Gefährlichkeit des elektrischen Lichtes. Wenn einige Unglücksfälle vorgekommen sind, so ereigneten sich diese nur bei provisorischen Anlagen und Umänderungen der Leitung. Greifen wir z. B. den Unglücksfall heraus, welcher sich auf der Kaiserlich russischen Yacht „Livadia" ereignete. Dieselbe wurde nach dem System *Jablochkoff* beleuchtet. Eine Lampe im Heizraume sollte niedriger gehängt werden, und dem Heizer wurde aufgetragen, dieselbe einen Augenblick zu halten; unglücklicherweise fasste er die Lampe derart an, dass der Wechselstrom von der *Jablochkoff*'schen Kerze abgelenkt wurde und den Körper des Unglücklichen passirte, dessen Tod die Folge war. Natürlich wäre es ein Leichtes gewesen, diesen Unglücksfall zu vermeiden. So sind *Uppenborn* zwei Fälle bekannt, wo Personen durch den Strom einer Wechselstrom-Maschine so sehr gelähmt wurden, dass sie nicht einmal um Hülfe schreien, viel weniger aber sich von den Drähten losreissen konnten; in beiden Fällen wurde jedoch die Gefahr zeitig bemerkt und beseitigt. In der That erfordern die zerschmetternde Kraft und der furchtbare intermittirende Stoss des Wechselstromes die grösste Aufmerksamkeit des Maschinisten und des die Lampen bedienenden

Personals, zumal bei Anlagen oder beim Anfassen einer Lampe. Dieser Grund ist keineswegs ungeeignet, die Wechselstrom-Maschinen zu verdrängen, zumal dieselben durch gleichwerthige, ja bessere Maschinen für continuirliche Ströme ersetzt werden können. Sind diese auch von grosser Spannung und geeignet, mehrere Lampen in einem Stromkreise zu speisen, so bringen sie, wenn nicht wie bei den *Brush*-Maschinen (vgl. p. 120) die Spannung aufs höchste gesteigert wird, einen unvorsichtigen Maschinisten oder unwissenden Neugierigen wenigstens nicht in Lebensgefahr; der empfangene Stoss ist, wenn auch unangenehm, so doch keineswegs von verderblichem Einflusse. Ein solcher ist ferner bei den gewöhnlichen dynamo-elektrischen Maschinen gar nicht vorhanden. „Fasst man die beiden Polen einer offenen dynamo-elektrischen Maschine an, so kommt, wie *Uppenborn* richtig bemerkt, wegen des hohen Leitungswiderstandes des menschlichen Körpers gar kein Strom zur Ausbildung. Berührt man dagegen die Pole einer durch einen Widerstand von z. B. 1 *S.-E.* geschlossenen Maschine, so kann immer noch kein erheblicher Strom den menschlichen Körper durchfliessen. Denn nehmen wir den Widerstand des menschlichen Körpers zu rund 2000 *S.-E.* an, so würde dieser Strom bei einer dynamo-elektrischen Maschine, welche mittelst eines Stromes von 34 *Webers* 4000 Normalkerzen producirt, nur 1/2000 des ganzen Stromes, also 0,017 *Webers* betragen."

Somit ist das menschliche Leben durch die elektrische Beleuchtung nicht gefährdet, sobald der *Brush*'schen Neigung, die Spannung der Maschinen immer mehr zu steigern und möglichst viele Lampen (etwa 40) in einen Stromkreis zu schalten, keine Folge geleistet und ein gleichgerichteter Strom zum Speisen der Lampen verwendet wird; ja bei einiger Aufmerksamkeit können sogar leichtere Unfälle vermieden werden, nicht nur bei der Anlage, sondern auch beim Betriebe, da eine jede Lampe mit einer Ausschalte-Vorrichtung ver-

ehen werden kann. Glaubt ferner *Preece*, dass, wenn sich n der Isolation der in Gebäuden liegenden Drähte kleine ınd grössere Isolationsfehler befänden, der Strom diese als rillkommene Gelegenheit benutzen würde, um nach der Erde u entweichen und durch Hervorbringen von Hitze Feuerchaden anzurichten, so ist darauf zu erwidern, dass doch n der Regel blanke Kupferdrähte zur Fortleitung kräftiger Ströme vollkommen genügen, selbst wenn sie auf der Erde der in feuchtem Grase liegen. Feuers-, Explosions- und Erstickungsgefahr, welche in den Zuleitungsrohren und in den Brennern des Leuchtgases, besonders aber in den Gasflammen selbst liegt, sind geradezu bei der elektrischen Beleuchtung ausgeschlossen; daher findet auch die elektrische Beleuchtung in Räumen, in denen man Rücksicht auf Feuersgefährlichkeit nehmen muss, z. B. in Spinnereien, chemischen Fabriken, Lagerräumen für leicht entzündliche Stoffe, sowie für Theater und Bibliotheken eine passende Verwendung.

XIV. Abtheilung.

Verschiedene Anwendungen der magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen. Anwendung zu galvanoplastischen Zwecken.

122. Anwendung der Handmaschinen.[1] Welche Vortheile die kleineren für den Hand- oder den Fussbetrieb eingerichteten magnet-elektrischen Maschinen für die Arbeits- und die Hörsäle der wissenschaftlichen Institute darbieten, haben wir bei der Beschreibung dieser Maschinen hervorgehoben. Da bei den dynamo-elektrischen Maschinen die Ströme verstärkend auf die inducirenden Elektromagnete einwirken, so wird bei ihnen die gegenseitige Anziehung zwischen den Magnetpolen und dem rotirenden Ringe oder der Trommel sehr bald so gross, dass sie von der Hand eines oder zweier Arbeiter nicht mehr überwunden werden kann. Das dynamo-elektrische Princip eignet sich daher nicht für die kleinen Handmaschinen; Stahlmagnete treten hier an die Stelle der Elektromagnete und die Maschinen sind einfach magnet-elektrische.

Die Maschinen von *Gramme* und von *Siemens-Halske*, welche continuirliche und constante Ströme von gleicher Richtung liefern, eignen sich in vielen Fällen zu medicinischen

[1] Vgl. Machines électriques a courants continus . . par *A. Niaudet.* Paris 1881, p. 36 und ff.

Zwecken, da sie im Stande sind, 6 bis 12 grosse *Bunsen'*-sche Elemente zu ersetzen und je nach der Geschwindigkeit der Umdrehung Ströme von verschiedener Stärke zu erzeugen. Ihr hoher Preis schliesst ihre Verwendung für den privaten Gebrauch aus, dagegen werden sie bei den Aerzten in Kliniken, Lazarethen, Krankenhäusern, Operationssälen u. s. w. immer mehr in Anwendung kommen, weil sie die lästigen Batterien überflüssig machen und eine immer dienstbereite Quelle von Elektricität darbieten, die sich nicht abnutzt und weder einer Unterhaltung noch einer Beaufsichtigung bedarf. Bei einer mässigen Umdrehung geben sie einen continuirlichen Strom; bei langsamer Drehung ist der Strom mehr unterbrochen, was man an den sehr merklichen Zuckungen wahrnimmt, die man empfindet, wenn man die in die Polklemmen eingeschalteten metallenen Handgriffe mit feuchten Händen anfasst. Soll die Maschine stärkere Zuckungen erregen, so wird in den Kreislauf des Stromes irgend eine von der Hand zu bewegende Unterbrechungsvorrichtung oder ein Selbstunterbrecher eingeschaltet; endlich ist dieselbe sehr geeignet, um Inductions-Apparate jeder Art in Thätigkeit zu versetzen.

Geradezu unschätzbar sind diese Handmaschinen für ärztliche Zwecke, insbesondere die von *Siemens-Halske* (*Hefner-Alteneck's* System), welche die Maschinen von *Gramme* an Kraft bei Weitem übertreffen, um Wärme zu erzeugen und mit dieser Wärme Platindrähte glühend zu machen. Diese **Wärmewirkungen** zeigen sich schon an den starken glänzenden Funken, die man erhält, wenn man den vom Strome durchflossenen Leitungsdraht an irgend einer Stelle unterbricht, so wie an dem unter lebhaftem Funkensprühen verbrennenden Eisen, wenn man den einen Poldraht über eine grobe Feile oder eine Raspel hinstreicht, welche mit dem andern Poldrahte der Maschine in Verbindung steht.

Schaltet man an irgend einer Stelle des Stromkreises

einen nicht zu langen, feinen Eisen- oder Platindraht ein, so wird derselbe bei Drehung der Maschine in wenigen Secunden je nach der Geschwindigkeit der Drehung roth- bis weissglühend, ja er schmilzt ab, wenn seine Länge und Dicke der Quantität der erzeugten Elektricität angemessen ist. Mittelst der *Gramme*'schen Handmaschine wird ein Platindraht von 1/3 mm Dicke und 20 bis 25 cm Länge hell rothglühend, mit einer *Siemens*'schen Maschine wird derselbe Draht weissglühend und bei 10 cm Länge schmilzt er ab. Platindrähte von dieser Stärke reichen zur Kauterisation und zum völligen Abbrennen krankhafter Körpertheile vollkommen aus; aber es lassen sich auch dickere Drähte bei entsprechender Länge bis zum Weissglühen erhitzen und bei anhaltender Drehung der Maschine beliebig lange weissglühend erhalten.

123. Anwendung zum Schmelzen von Stahl, Eisen u. s. w. Auf der sehr hohen Temperatur, welche der galvanische Strom hervorbringt, beruht auch eine werthvolle Verwendung desselben in den Gewerben zum Schmelzen von Platin, Iridium, Stahl und Eisen oder zur Hervorbringung von solchen Reactionen und Zersetzungen, die zu ihrer Vollendung einen intensiven Hitzegrad erfordern. Zur Schmelzung von Eisen und Platin verfertigte *William Siemens*[1]) einen besonderen Apparat. Derselbe besteht aus einem gewöhnlichen Schmelztiegel von Graphit oder anderem sehr schwer schmelzbaren Materiale, welches in ein auf einem Dreifusse stehendes, metallisches Gefäss, unter Ausfüllung des Zwischenraumes mit gestossener Holzkohle oder einem anderen schlechten Wärmeleiter, eingesetzt ist. Durch den Boden des Schmelztiegels ist ein Loch gebohrt, durch welches ein Stab von Gaskohle eingeführt ist. Der Deckel des Tiegels ist ebenfalls durchbohrt, um die negative Elektrode, einen Cylinder

[1]) Vgl. E. Z., I, p. 325.

von gepresster Kohle aufzunehmen. Die automatische Regulirung des Bogens wird durch eine einfache Vorrichtung bewirkt; geht daher der Strom anhaltend durch die Elektroden hindurch, so häuft sich die Hitze sehr rasch an. Beim Arbeiten mit einer Dynamo-Maschine, die bei einem Aufwande von 4 Pferdekräften einen Strom von 36 *Weber*'schen Einheiten erzeugt, fand *Siemens*, dass ein in nicht leitendes Material eingesetzter Tiegel von ungefähr 20 cm Tiefe in weniger als einer Viertelstunde zum Weissglühen gebracht und alsdann die Schmelzung eines Kilogramms Stahl in einer weiteren Viertelstunde bewirkt wurde, während die nachfolgenden Schmelzungen in kleineren Zeiträumen erfolgten. Weit wichtiger als solche Schmelzungen sind entschieden die vielfachen

124. Anwendungen der dynamo-elektrischen Maschinen zu chemischen Zwecken, zur Galvanoplastik und zu metallischen Niederschlägen aller Art. Sie haben trotz der verhältnissmässig kurzen Zeit ihrer Verwendung für obige Zwecke eine Verbreitung gefunden, die beweist, wie rasch allseitig die ausserordentlichen Vortheile erkannt worden sind, die ihr Gebrauch gewährt.

In der That, wer Gelegenheit hatte, das Arbeiten mittelst galvanischer Elemente mit ihren gesundheitsschädlichen Dünsten, zeitraubender Rein- und kostspieliger Instandhaltung mit dem bequemen, reinlichen und zuverlässigen Betrieb zu vergleichen, den dynamo-elektrische Maschinen gewähren, kann nicht im Zweifel sein, welcher Einrichtung der Vorzug gebührt.

Die höheren Anschaffungskosten machen sich binnen Kurzem durch Ersparniss an Säuren, Zink, Quecksilber und anderen Materialien bezahlt, und die Zuverlässigkeit bewahrt vor den tausenderlei Unannehmlichkeiten und Störungen, die mit der Verwendung von Elementen untrennbar verknüpft sind.

Gewährte die dynamo-elektrische Maschine auch nur den einen Vortheil, unter allen Umständen, also auch bei

Tag und Nacht ununterbrochen dauerndem Betrieb stets gleichen Strom, also auch gleichen Wirkungsgrad zu geben, so wäre dies schon ein genügender Grund, sie zu bevorzugen, denn sie sichert ja hierdurch nicht nur ein stets gleichmässig gutes Product, sondern ermöglicht auch die Lösung galvanoplastischer Aufgaben, die früher kaum oder nur mit den grössten Schwierigkeiten ausführbar waren.

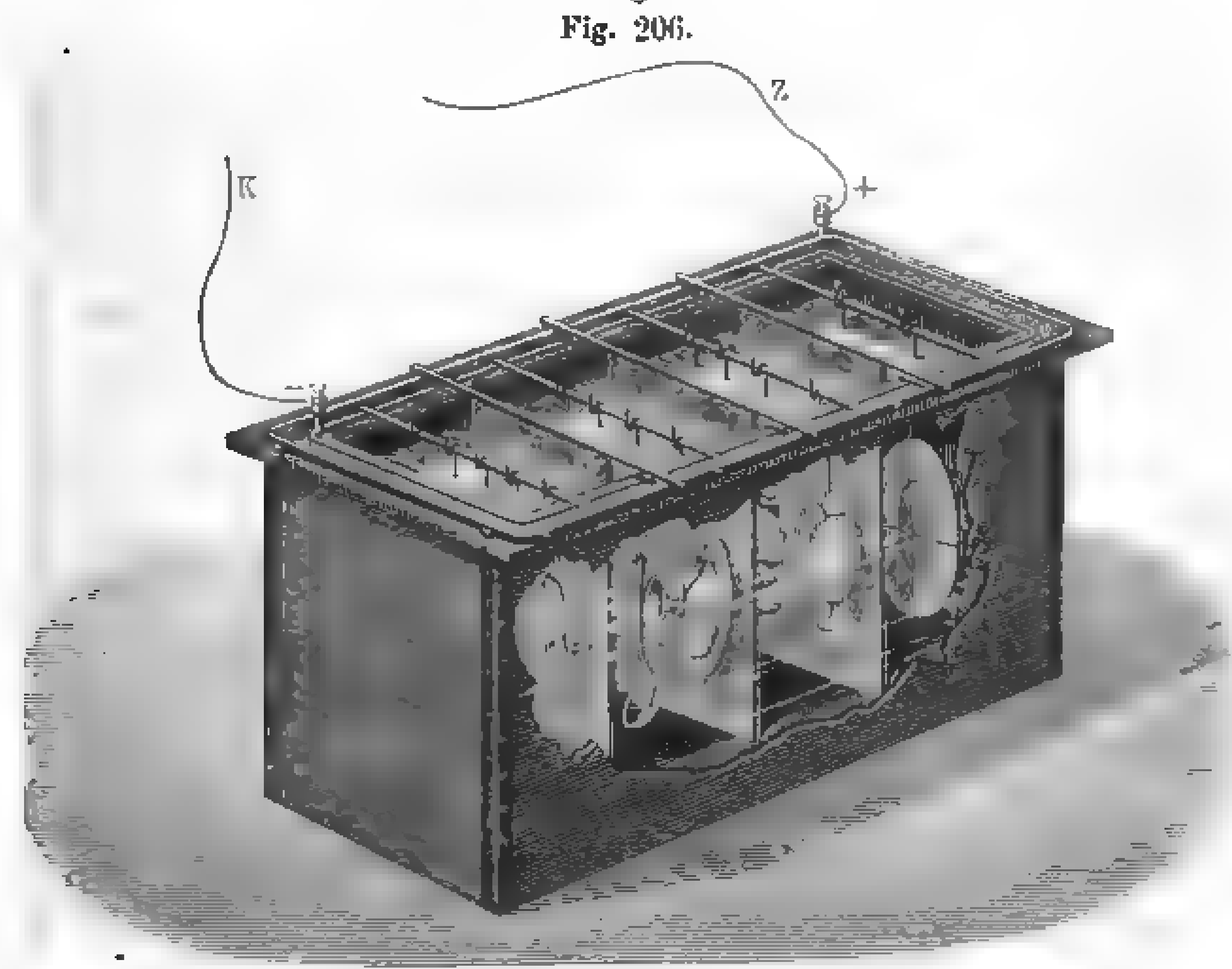
Die dynamo-elektrische Maschine hat nicht nur einem schon vorhandenen Industriezweig eine willkommene Hülfe gebracht, sondern sie hat durch ihre Vorzüge geradezu bewirkt, dass dieser Industriezweig eine ausserordentliche Entwickelung erfahren.

Der täglich mehr in Aufnahme kommende Brauch, Gegenstände von Stahl, Eisen und anderen der Oxydation ausgesetzten Metallen zu vernickeln, oder mit einem anderen metallischen Ueberzug zu versehen, datirt in der Hauptsache erst von der Verwendung der dynamo-elektrischen Maschine und wird, weil zweckmässig, immer grössere Verbreitung finden.

Bezüglich der Praxis, welche bei galvanoplastischen Arbeiten des Vergoldens, des Versilberns u. s. f. befolgt wird, sei nur bemerkt, dass die beiden Pole der den Strom erzeugenden Maschine durch Leitungsdrähte Z und K mit zwei Metallstäben in Verbindung stehen, welche zu einander parallel auf dem obern Rande des die Zersetzungsflüssigkeit enthaltenden Holztroges, gut von einander isolirt, befestigt sind. Auf den positiven Metallstab werden vermittelst Querstäbe eine oder mehrere Gold- oder Silberplatten aufgehängt, durch welche der Strom in die Flüssigkeit eintritt. Die zu vergoldenden oder zu versilbernden Gegenstände werden vermittelst biegsamer Metalldrähte an andere Querstäbe aufgehängt und letztere so auf den negativen Metallstab gelegt, dass die Gegenstände in der Flüssigkeit den Metallplatten

gegenüber stehen. Der Strom geht daher im Innern des Zersetzungstroges von den Metallplatten durch die Flüssigkeit zu den zu bearbeitenden Gegenständen und zersetzt die Flüssigkeit; das bei diesem Processe ausgeschiedene reine Metall legt sich dabei in cohärenter Form auf die metallischen Gegenstände und bedeckt diese mit einer metallischen Schicht von Gold, Silber u. s. w., deren Dicke von der Stärke und der Dauer des Stromes abhängt.

Fig. 206.



Zersetzungstrog für galvanoplastische Arbeiten.

Der Strom findet also, wie Fig. 206 zeigt, seinen Eintritt über *Z* in die Zersetzungszellen,[1]) sowie seinen Austritt über

[1]) Geht der Strom derselben Maschine durch mehrere Bäder, so erweist sich die Einschaltung mehrerer Bäder hintereinander als zweckmässiger wie die bisher übliche Einschaltung nebeneinander; bei Hintereinanderschaltung wächst die gesammte niedergeschlagene Metallmenge beträchtlich, während sie bei Nebeneinanderschaltung ziemlich constant bleiben soll. Vgl. *Dingler's* Polyt. Journal. Bd. 227, p. 211.

K aus denselben an zwei oder mehreren grossen Metallplatten oder metallenen Stäben. So lange die Maschine in Bewegung ist, bleiben die Pole der Elektromagnete unverändert dieselben und der erzeugte Strom ist continuirlich und stets von derselben Richtung. Tritt aber in dem Betriebe zufällig oder absichtlich eine Stockung ein, so erzeugen die genannten Eintritts- oder Austrittsplatten + und —, welche durch den vorigen und nunmehr unterbrochenen Strom geladen (polarisirt) sind, durch die Entladung einen Strom von entgegengesetzter Richtung, der sich durch die ganze Maschine fortsetzt und hier die Polarität der Elektromagnete umkehrt, so dass aus dem früheren Nordpole ein Südpol wird. Nun beruht aber die dynamo-elektrische Wirkung der Maschine auf dem Vorhandensein eines remanenten Magnetismus in den Elektromagneten, und die Richtung des erzeugten Stromes hängt ab von der Polarität dieses kleinen Restes magnetischer Kraft in den Eisenkernen. Würde man nun, nachdem durch den Entladungsstrom der Zellen die Pole der Elektromagnete umgekehrt worden sind, die Maschine ohne Weiteres wieder in Bewegung setzen, so würde sie einen Strom von der entgegengesetzten Richtung des ersten Stromes erzeugen; in den Zersetzungszellen würden daher auch die Producte der Zersetzung eine entgegengesetzte Richtung annehmen und z. B. bei Versilberungsarbeiten die im Bade befindlichen Gegenstände anstatt versilbert entsilbert werden.

Um diesem Uebelstande zu begegnen, bringt *Gramme* an seiner Maschine für Galvanoplastik §. 33 einen automatisch wirkenden Stromunterbrecher an, der selbstthätig den Strom unterbricht, wenn die Maschine langsamer geht oder plötzlich stehen bleibt; der Gegenstrom wird dadurch von der Maschine abgehalten und ein Polwechsel kann in den Elektromagneten nicht eintreten. Wenn man später die Maschine wieder in Gang setzen will, braucht man nur ein kleines

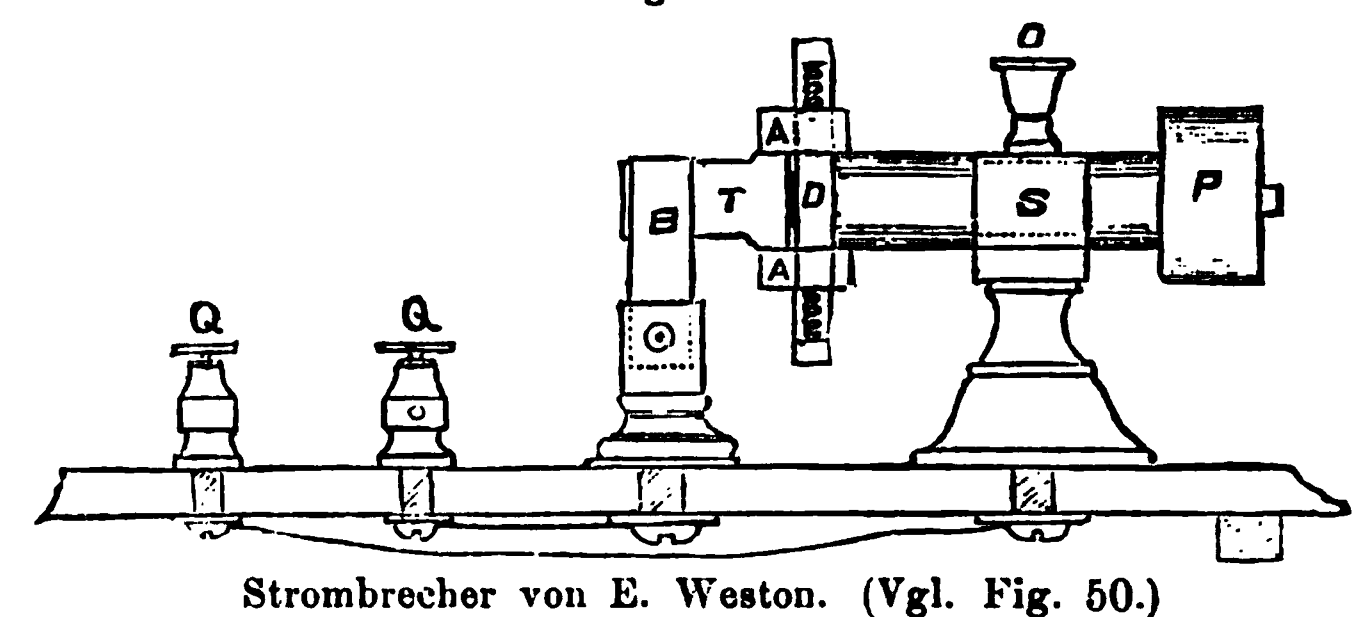
Metallblech, **Strombrecher** genannt, an die Elektromagnete zu legen, um die Arbeit sofort wieder beginnen zu können.

Ein solcher Strombrecher besteht aus einem drehbaren Eisenstücke mit Gegengewicht, welches die ableitenden Bürsten mit den Elektromagneten in Verbindung setzt. So lange diese stark magnetisirt sind, halten sie das Eisenstück fest und der Strom kann aus dem Ringe zu den Elektromagneten und den Metallbädern übergehen. Wenn jedoch die Maschine aus irgend einem Grunde anfängt, langsamer zu gehen, verlieren die Elektromagnete ihre anziehende Kraft, das Gegengewicht im Strombrecher kommt zur Wirkung und trennt das verbindende Eisenstück von den Bürsten; der Strom des Ringes kann nun nicht mehr zu den Elektromagneten übergehen, die Leitung ist unterbrochen und der Gegenstrom verhütet. Die Elektromagnete behalten daher stets dieselbe Polarität und die Maschine kann nach jedem Stillstande sofort wieder in Bewegung gesetzt werden.

Zu demselben Zwecke ist der Stromschliesser und Oeffner von *E. Weston* construirt (Fig. 207 und 208). Er besteht aus einer Scheibe D, welche auf einer Welle befestigt ist. Diese ruht in dem horizontalen Lager einer Säule S und wird durch den Riemen J von der Welle D der Maschine aus gedreht (s. Fig. 50). Die Scheibe D ist mit zwei radialen Schlitzen versehen, in welchen je ein Gleitstück gleiten kann. Diese Stücke werden durch justirbare Spiralfedern nach der Achse der Scheibe hin gedrückt und zwar gegen eine Metallnabe, welche sich von der Scheibe nach aussen hin erstreckt und von der Welle, auf der die Scheibe sitzt, gut isolirt ist. Gegen die Nabe legt sich auch eine Feder B an, welche an einer Säule befestigt ist. Die erwähnten Säulen sind, wie die Fig. 207 zeigt, mit den Klemmen Q (A in Fig. 50) verbunden, von denen die äusseren Leitungsdrähte ausgehen. Ist nun die Geschwindigkeit der Maschine unter ein bestimmtes Maass

gesunken, so bilden die Gleitstücke mit der Nabe einen elektrischen Contact. Der auftretende Gegenstrom durchfliesst alsdann nur den Stromschliesser, da dieser weit weniger Widerstand bietet als die innere Leitung der Maschine. Erreicht aber die Geschwindigkeit der Maschine eine bestimmte Grösse, so treibt die Centrifugalkraft die Gleitstücke

Fig. 207.



Strombrecher von E. Weston. (Vgl. Fig. 50.)

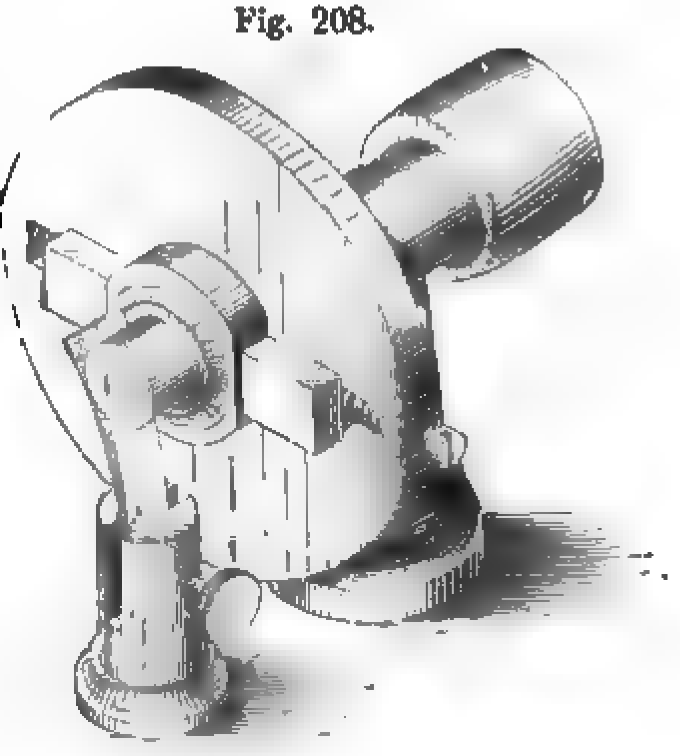
ausser Berührung mit der Nabe, so dass der wiederum stärker gewordene Strom der Maschine nicht durch den Hülfs-Apparat, sondern durch die äussere Leitung bezw. den Zersetzungstrog fliesst.

Damit der Hauptstrom auch für den Fall geschlossen bleibt, dass alle Gegenstände aus dem Elektroplatirgefässe genommen werden, schaltet *Weston* in die äussere Leitung einen Rheostat von genau bemessenem Widerstand ein.

Ganz ähnlich wie bei *Weston*'s Dynamo-Maschine wird auch bei der Maschine von *Möhring* (§. 27) die Centrifugalkraft dreier Gleitblöcke, die sich in je einem Schlitze einer am linken Ende des Stromsammlers befindlichen Scheibe bewegen, dazu benutzt, beim Stillstande und bei zu langsamem Laufe der Maschine ein etwa in den Bädern entstehendes Rückströmen der Elektricität zu verhüten, indem die Blöcke erst bei einer gewissen Geschwindigkeit der Maschine sich an den Rand von *M* anlegen, sonst aber die Verbindung zwischen den beiden Theilen *L* und *M* des Stromsammlers aufheben. (Vgl. Fig. 52.)

Dass die Elektromagnete der Maschine gleiche Polarität behalten, kann nach *Weston* auch dadurch erzielt werden, dass man zwei metallene Ständer neben der Maschine anbringt, welche, wie im vorigen Falle, mit den Klemmen verbunden sind, von denen die äusseren Leitungsdrähte ausgehen. Der eine Ständer (vgl. Fig. 209) trägt oben ein bis zu einer gewissen Höhe mit Quecksilber gefülltes, inwendig geripptes Gefäss, während von dem anderen ein stellbarer Draht in das Quecksilbergefäss herabreicht. Während der Ruhe taucht der Draht in das Quecksilber des Gefässes ein und schliesst so kurz die Spulen der Maschine. Läuft aber die Maschine und das von ihr durch einen Riemen getriebene Quecksilbergefäss mit einer gewissen Geschwindigkeit, so senkt sich das Quecksilber in der Mitte, der Draht liegt bloss, der kurze Schluss ist beseitigt und der Strom geht in den von den Klemmen ausgehenden äusseren Schliessungskreis. Sinkt die Geschwindigkeit der Maschine zu weit herab, so berührt das Quecksilber den Draht wieder und bildet einen kurzen Schluss für den Polarisationsstrom, der also nicht in die Spulen der Maschine eintreten kann.

Fig. 208.

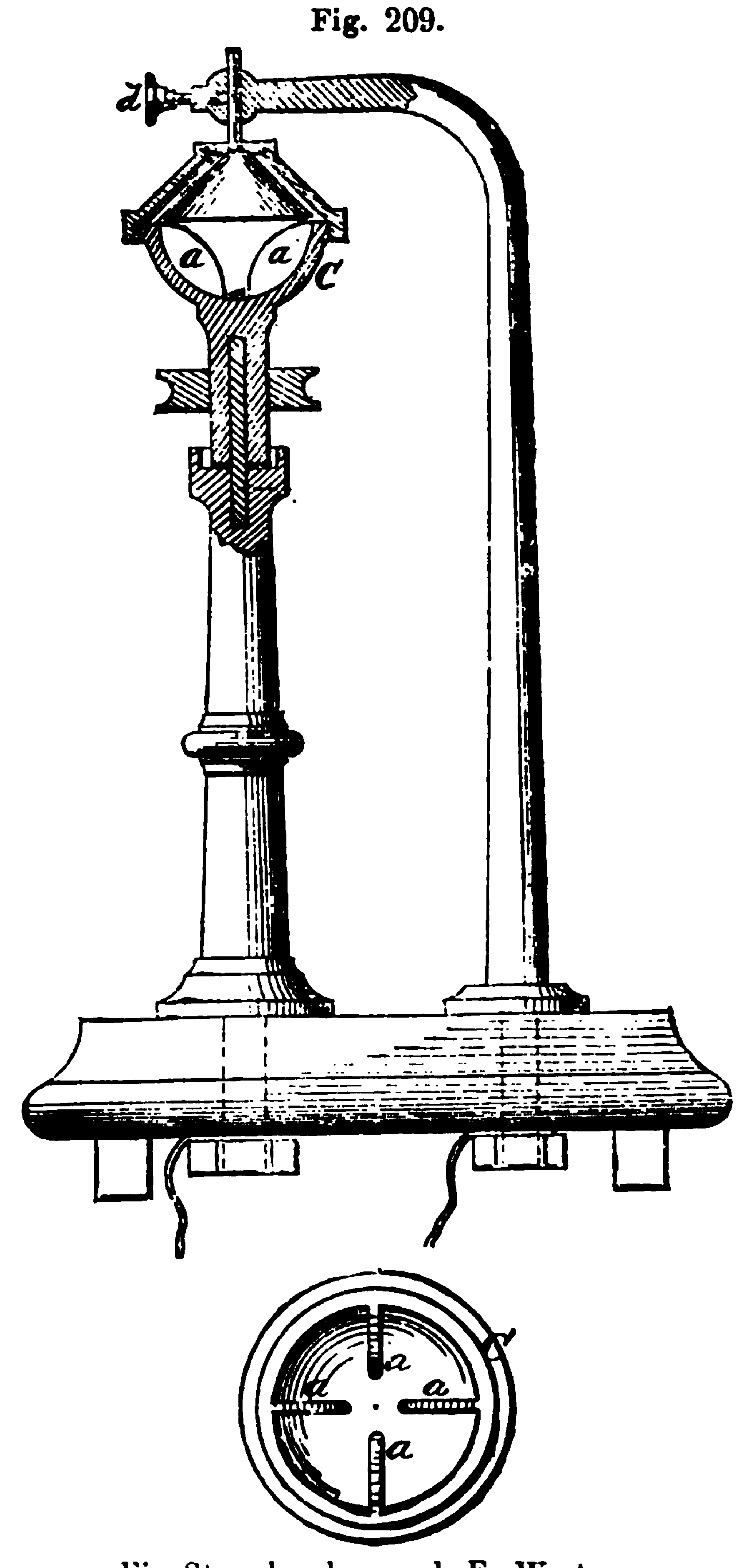


Strombrecher von E. Weston.

Hiermit haben wir in aller Kürze der Art und Weise gedacht, wie der galvanische Strom dazu benutzt wird, die Metallsalze zu zerlegen und die Metalle aus den Auflösungen derselben chemisch rein in cohärenter Form niederzuschlagen. Schon die kleinen magnet-elektrischen Handmaschinen von *Siemens-Halske (v. Hefner-Alteneck)* mit 50 Stahlmagneten

zersetzen das Wasser sehr lebhaft, und zwar dreimal so sta
als die Handmaschinen von *Gramme*. Dieselbe *Siemens*'sc

Fig. 209.



Ein Strombrecher nach E. Weston.

Maschine mit Riemenscheibe und Maschinenbetrieb (Fig. 9
deren Trommel mit dickem Drahte bewickelt ist, lässt si

schon zu chemischen Zersetzungen der verschiedenen Metallsalze im Grossen verwenden und liefert beispielsweise einen Niederschlag von 200g Kupfer oder 700g Silber in der Stunde. Von noch grösserer Wirkung sind natürlich die dynamo-elektrischen Grossmaschinen, die daher auch zu den verschiedensten chemischen und metallurgischen Arbeiten, namentlich zu galvanoplastischen Niederschlägen jeder Art, zur Zersetzung von Metallverbindungen, zur Reduction der Mineralien, zur Verkupferung, Vergoldung, Versilberung, Vernickelung, Bronzirung, zur Anfertigung von Clichés (Galvanos) in Schriftgiessereien und grossen Buchdruckereien u. s. w. von Tag zu Tag weitere Anwendung finden. In den umfangreichen, weltberühmten galvanoplastischen Werken von *Christofle & Cie.* in Paris und von *Elkington* in Birmingham sind zahlreiche elektrische Maschinen unausgesetzt in Betrieb, und die Zeit wird nicht mehr fern sein, wo in allen industriellen Anstalten ähnlicher Art die lästigen galvanischen Batterien durch magnet- oder dynamo-elektrische Maschinen ersetzt sind. Wo eine Arbeitskraft, Wasser oder Dampf, zum Betriebe einer elektrischen Grossmaschine schon vorhanden ist, erweist sich ihre Anwendung von besonderem Vortheile; aber auch bei kleineren metallurgischen Arbeiten empfehlen sich die kleineren magnet-elektrischen Maschinen, da sie zu ihrer Bewegung nur einen Motor von ½ bis 1½ Pferdekräften erfordern und dieser in einer guten Gasmaschine (z. B. in *Otto's* geräuschlosem Gasmotor) oder in einer Heissluftmaschine leicht zu beschaffen ist.

Die genannten Maschinen von *Siemens*, welche 700g Silber in der Stunde niederschlagen, kosten ℳ700. Eine magnet-elektrische Maschine *Gramme*, welche 400g Silberniederschlag per Stunde liefert, kostet ℳ1200; eine dynamoelektrische Grossmaschine von ℳ2400 liefert 1000g und die grösste von ℳ11 000 15kg Silberniederschlag in der Stunde. *Schuckert* (§. 38) baut zu galvanoplastischen Zwecken seine

Flachring-Maschinen von 1/4 bis 2 Pferdekräften, von denen die kleinste ℳ 400 und die grösste ℳ 1800 kostet. Mehr als 150 dieser Maschinen verschiedener Grösse für galvanoplastische Zwecke befinden sich seit Jahren im Betrieb und die zahlreichen Zeugnisse, worunter solche der bedeutendsten Institute und Firmen, sprechen für ihre Güte.

Bei der Vielseitigkeit in der Anwendung zu chemischen Zwecken lässt sich gegenwärtig noch gar nicht übersehen, welche Revolution die grossen dynamo-elektrischen Maschinen in den metallurgischen Processen und hüttenmännischen Arbeiten und in den verschiedenen chemischen Industrien mit der Zeit hervorrufen werden. Wir erwähnten bereits, dass eine grosse Bleichanstalt in Whitechapel den elektrischen Strom einer *Wilde*'schen Maschine (§. 18) zur Erzeugung des Ozons als Bleichmittels angewandt habe. Ozon entsteht, wenn zahlreiche elektrische Funken oder überhaupt eine unter Funken erfolgende elektrische Entladung durch einen Strom von Sauerstoff hindurchgehen. Der ozonisirte Sauerstoff aber hat in hohem Grade die Eigenschaft, durch seine oxydirende Wirkung die organischen Substanzen zu zerstören und dieselben aus der Wäsche zu entfernen. Schon hat *Ruhmkorff* vor einigen Jahren einen Apparat construirt, um mit Hülfe einer seiner Inductions-Maschinen eine reiche Fülle von Ozon zu medicinischen Zwecken zu erzeugen; in den neueren dynamo-elektrischen Maschinen aber besitzen wir gegenwärtig eine fast unerschöpfliche Quelle von Elektricität, die wir durch den Aufwand mechanischer Arbeit und daher in vielen Fällen ohne erhebliche Unkosten erzeugen können, und in der atmosphärischen Luft haben wir andererseits einen nicht minder unerschöpflichen Vorrath von freiem Sauerstoffe. Wir dürfen daher nicht zweifeln, dass es gelingen werde, mit Hülfe der elektrischen Maschinen grosse Mengen von Ozon billig darzustellen und dasselbe zum Bleichen und zu anderen chemischen Processen praktisch zu verwenden.

125. Verwerthung für telegraphische Zwecke. Die hohen Anschaffungs- und Unterhaltungskosten der galvanischen Batterien, die Unbequemlichkeiten in ihrer Instandhaltung, die drohende Gefährdung des Betriebes durch die in ihnen vorkommenden Störungen und der zu ihrer Aufstellung in grossen Aemtern erforderliche bedeutende Raum musste das Verlangen entstehen lassen, in der Telegraphie den von galvanischen Batterien gelieferten stetigen Strom mittelst Inductions-Maschinen erzeugen zu können. An die nach dieser Richtung bereits früher unternommenen Versuche reihen sich neuerdings mehrere an, welche von gutem Erfolge begleitet sind. Im Herbste 1879 versuchte *L. Schwendler* den starken und ungemein billigen Strom einer Dynamo-Maschine für telegraphische Zwecke zu verwenden. Hauptsächlich dient dieser nach der *Schwendler*'schen Methode für irgend eine nützliche Arbeit, z. B. zur Beleuchtung, zur Kraftübertragung oder zu chemischen Zwecken; ein Theil desselben aber wird zu den Telegraphenlinien abgeleitet, ohne dass hierdurch die andere zu leistende Arbeit beeinflusst wird. *Schwendler* telegraphirte so von Calcutta nach Agra. Der starke Strom wurde in den Telegraphenwerkstätten des Alipore-Gouvernements erzeugt und diente zur Beleuchtung der Werkstätten. Ein etwa 0,004 desselben betragender Theil wurde durch die 850 engl. Meilen langen Telegraphenlinien zwischen Agra und Calcutta geleitet, ohne dass während des Telegraphirens eine Aenderung in der Stärke des elektrischen Lichtes bemerkt werden konnte.

Dieser Versuch fiel so günstig aus, dass *Schwendler* es wagte, einen grösseren Versuch zu machen, nämlich alle in die Calcutta Telegraph Office einmündenden Linien mit passenden, auf dem angegebenen Wege gewonnenen Zweigströmen zu versehen. Wiederum zeigten die Experimente, dass es vollkommen möglich und praktisch ist, von dem Hauptstrome einer dynamo-elektrischen Maschine den ganzen

Strombedarf eines Telegraphen-Bureaus abzuzweigen, und dass die erforderliche nur sehr kleine Abzweigung die Regelmässigkeit irgend welcher von dem Hauptstrome gethanen Arbeit nicht beeinflussen kann.[1])

Es können natürlich auch besondere Maschinen ausschliesslich für telegraphische Zwecke verwandt werden. *L. Kohlfürst* in Prag bediente sich z. B. eines fünflamelligen, von einem Triebwerke gedrehten *Siemens*'schen Magnet-Inductors, dessen Poldrähte an den Arbeits- und an den Ruhekontact eines gewöhnlichen Morse-Tasters geführt wurden; sodann legte er drei Morse-Stiftschreiber von grossem Widerstand und ein Rheostat hintereinander in den Stromkreis, der am Ruhekontact und der Axe des Tasters endete. Dabei fand er, dass die drei Morse selbst bei raschem Arbeiten gute Schrift gaben.

In grösserem Maassstabe stellte die Western Union Telegraph Company in ihrem Haupt-Telegraphenamte zu New-York Versuche an, welche dem Vorschlage *Field's* in Francisco folgte, den Strom von der erforderlichen Stärke nicht mittelst einer einzigen Maschine zu erzeugen, sondern eine Anzahl von Inductionsmaschinen anzuwenden und diese wie galvanische Elemente hintereinander zu schalten, indem man immer den positiven Poldraht der einen an den negativen Pol der nächsten legte. Bei dem Gebrauche von *Siemens*'schen Maschinen, deren Elektromagnete durch den Strom einer Dynamo-Maschine angeregt wurden, erwies sich der Strom gleich gut brauchbar für den Betrieb des Quadruplex und der Börsendrücker. Es wurden daher drei Sätze von Inductions-Maschinen und Betriebs-Maschinen aufgestellt,

[1]) Vgl. Z. f. a. E. 1880, p. 93. *Schwendler*: „Verwerthung der Ströme von dynamo-elektrischen Maschinen für telegraphische Zwecke." ib. 1881, p. 131. „Ueber einige Experimente zur Versorgung aller in der Calcutta Telegraph Office endigenden Linien mit von dem Hauptstrome einer dynamo-elektrischen Maschine abgeleiteten Zweigströmen."

von denen zwei für gewöhnlich die 360 von dem Amte auslaufenden Drähte der Western Union Company und die Kabel der Gold and Stock Telegraph Company speisen, während der dritte in Reserve bleibt. Ein einziger Ingenieur genügt, sämmtliche Maschinen zu überwachen, welche noch nicht den zehnten Theil des für die Batterien nöthigen Raumes einnehmen. Der Inductionsstrom soll dort den galvanischen nicht nur in den Telegraphenlinien und Localstromkreisen, sondern auch bei den Klingeln und allen anderen Verwendungen ersetzen, wobei ein Rückgang der Kosten von 50 % erwartet wird.[1])

---

[1]) Vgl. E. Z. I, p. 106, sowie *Dingler's* P. J., Bd. 236, p. 341.

XV. Abtheilung.

Die elektrische Uebertragung der Kraft.

126. Wenn wir in §. 120 nachwiesen, dass es nicht vortheilhaft ist, die nach dem alten Verfahren aus den galvanischen Batterien gewonnene Elektricität zu mechanischer Arbeitsleistung zu verwenden, so muss es umgekehrt vortheilhaft sein, die mechanische Arbeit in Elektricität umzusetzen. Letzteres geschieht eben in den magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen, und es entspricht dem Aufwande einer gegebenen mechanischen Arbeit eine bestimmte Menge Elektricität, die wir in dem Flammenbogen in den Formen von Wärme und Licht wieder zum Vorschein kommen sehen. Aber wir brauchen die durch Arbeit auf billige Weise erzeugte Elektricität nicht in Wärme und Licht umzuwandeln: wir können dieselbe vielmehr wieder in Arbeit zurückführen.

Wenn man den aus einer der genannten Maschinen gewonnenen elektrischen Strom in eine gleiche oder in eine andere beliebige elektrische Maschine leitet, so setzt sich diese in Bewegung und leistet Arbeit. Verbindet man beispielsweise die Leitungsklemmen der beiden in den Figuren 63 und 91 abgebildeten zwei Handmaschinen von *Gramme* und *Siemens* durch zwei Drahtleitungen mit einander und dreht man mit der Hand die eine von ihnen, so geräth dadurch die andere in Bewegung, und zwar ist die Geschwindigkeit der letzteren um so grösser, je stärker der Strom ist, den man mit der Muskelkraft des Armes in der ersten Maschine

erzeugt. Gerade so geschieht es mit jeder anderen magnet- oder dynamo-elektrischen Grossmaschine.

In allen Fällen haben wir es also mit drei verschiedenen Maschinen zu thun:

1) Die Anfangsmaschine ist irgend ein Krafterzeuger oder mechanischer Motor (eine Dampfmaschine, Gaskraftmaschine, Heissluftmaschine, Wasserkraft mit Wasserrad oder Turbine u. s. w.) und liefert die Betriebskraft der ganzen Einrichtung; wir nennen sie daher zweckmässig die Betriebsmaschine oder den Anfangsmotor.

2) Die Zwischenmaschine ist eine dynamo- oder eine magnet-elektrische Maschine; sie setzt die Arbeit der Betriebsmaschine in Elektricität um und erzeugt den elektrischen Strom; wir nennen sie daher kurz den Stromerzeuger oder Stromgeber.

3) Die Endmaschine, ebenfalls eine dynamo- oder eine magnet-elektrische Maschine, empfängt durch die Leitung den Strom des Stromerzeugers, wird durch denselben auf die bekannte Weise in Rotation versetzt und erzeugt, diesmal durch Umsetzung von Elektricität in mechanische Arbeit, diejenige Kraft, welche für den beabsichtigten Zweck erforderlich ist. Wir nennen daher diese letzte Maschine den Elektromotor.

Es ist zur Zeit nicht möglich, eine gegebene Arbeit ganz in Elektricität umzuwandeln und eben so wenig ist es möglich, die in einem gegebenen Strome wirksame Elektricität ganz in Arbeit umzusetzen. Immer entsteht ausser der Elektricität im ersten und der Arbeit im zweiten Falle noch eine grössere oder geringere Menge Wärme, welche für den beabsichtigten Zweck verloren geht und selbst störend wirken kann; doch hat die Erfahrung bereits gelehrt, dass mit den gegenwärtigen Maschinen und Einrichtungen bei mässiger Umdrehungsgeschwindigkeit von der durch die Betriebs-Maschine gelieferten Arbeit selbst bei längeren Leitungen wenigstens 50 % wiedergewonnen werden können. Bei einer

grösseren Rotationsgeschwindigkeit steigt die übertragbare Nutzarbeit auf 60 % und nach den Versuchen von *Dr. W. Siemens* darf man darauf rechnen, dass bei zweckmässiger Construction der elektrischen Maschinen und bei einer grossen Tourenzahl durch dieselben eine Kraftübertragung von 70 % und mehr erzielt werden kann.

Sehr instructiv sind die Resultate, welche *Fontaine* hinsichtlich des Nutzeffectes mit *Gramme*'schen Maschinen zur elektrischen Uebertragung verschieden grosser Kräfte erhielt. Seither verfertigte *Gramme* nur Maschinen, welche 1 bis 2, 2 bis 3, 6 bis 8 und 12 bis 16 Pferdekräfte übertragen sollen; der Grösse der zu übertragenden Kraft entspricht der innere Widerstand der Maschine. Solcher ist daher bei den folgenden Tabellen stets angegeben worden:[1])

I. Versuche mit zwei gleichen Maschinen, welche einen innern Widerstand von 1 *Ohm* haben.

Tourenzahl des Stromgebers in der Minute.	Tourenzahl des Elektromotors in der Minute.	Widerstand der äusseren Leitung in *Ohms*.	Die von dem Stromgeber verbrauchte Arbeit in kgm.	Die von dem Elektromotor geleistete Arbeit in kgm.	Nutzeffect in %
1540	1240	0,075	190,140	94,892	49,95
1540	1220	0,075	227,740	110,644	48,50
1540	1040	0,075	305,428	158,258	51,80
1540	980	0,075	323,683	164,639	50,80
1540	1150	0,930	158,623	62,992	39,50
1540	1030	0,930	209,283	97,171	46,40
1540	930	0,930	280,086	144,188	51,40

II. Versuche mit zwei gleichen Maschinen, welche einen innern Widerstand von 3 *Ohms* haben.

Tourenzahl des Stromgebers in der Minute.	Tourenzahl des Elektromotors in der Minute.	Widerstand der äusseren Leitung in *Ohms*.	Die von dem Stromgeber verbrauchte Arbeit in kgm.	Die von dem Elektromotor geleistete Arbeit in kgm.	Nutzeffect in %
1550	925	1,85	358	157	44
1550	1210	1,83	223	110	49
1550	1130	1,85	272	156	57

[1]) L'Électricien, 15. Juni 1881.

III. Versuche mit zwei gleichen Maschinen, welche einen innern Widerstand von 5 *Ohms* haben.

Tourenzahl des Stromgebers in der Minute.	Tourenzahl des Elektromotors in der Minute.	Widerstand der äusseren Leitung in *Ohms*.	Die von dem Stromgeber verbrauchte Arbeit in kgm.	Die von dem Elektromotor geleistete Arbeit in kgm.	Nutzeffect in %.
1600	1110	2,65	246	108	43
1600	1000	2,65	356	163	45
1600	1050	2,65	292	135	46
1600	1030	3,97	364	174	47
1600	1050	3,97	324	153	47

IV. Versuche mit zwei ungleichen Maschinen, deren innerer Widerstand 2,63 *Ohms* (Stromgeber) bezw. 1,15 *Ohms* (Elektromotor) sind.

Tourenzahl des Stromgebers in der Minute.	Tourenzahl des Elektromotors in der Minute.	Aeusserer Widerstand in *Ohms*.	Aeusserer Widerstand in der Länge des Drahtes von 0,004m D.	Die vom Stromgeber verbrauchte Arbeit in kgm.	Die vom Elektromotor geleistete Arbeit in kgm.	Nutzeffect in %.
1360	1455	0,075	55,30	280,00	141,00	50,3
1360	1410	»	»	264,30	142,60	53,9
1360	1590	»	»	232,30	127,12	54,7
1360	1345	»	»	288,60	165,50	57,3
1520	1440	»	»	366,22	197,70	54,0
1520	1530	»	»	338,90	188,00	55,5
1520	1640	»	»	310,70	178,00	57,3
1360	1055	0,930	701,78	295,50	140,10	47,4
1360	1365	»	»	258,60	131,90	51,0
1360	1430	»	»	240,30	124,00	51,6
1520	1320	»	»	358,70	181,00	50,4
1520	2000	»	»	335,20	121,00	51,4
1520	1390	»	»	340,00	180,00	52,9
1360	1310	4,743	3576,00	173,00	70,76	40,9
1360	1450	»	»	154,80	66,27	42,8
1520	1570	»	»	239,00	21,55	38,2
1360	1280	6,525	4922,16	160,00	55,34	34,5
1360	1400	»	»	131,40	50,08	38,1
2150	2450	»	»	306,27	125,56	35,0
2150	2200	8,443	6368,00	355,00	114,00	32,0

Die Tabelle I zeigt deutlich, dass bei einem äusseren Widerstande von 0,075 *Ohms*, welcher einem Kupferdrahte von 50m Länge und 4mm Durchmesser entspricht, sowie einem Widerstande von 0,930 *Ohms*, welcher 700m desselben Drahtes entspricht, der Nutzeffect ziemlich derselbe

ist, sowie nur in dem letzten Falle die Geschwindigkeit des Elektromotors etwas kleiner wird.

Der Widerstand 2,65 *Ohms* entspricht einem Kupferdrahte von 2000m Länge und 4mm Durchmesser, der Widerstand 3,27 *Ohms* entspricht 3000m desselben Drahtes. Die Tabelle III zeigt daher, dass auf eine Entfernung von 1500m und bei einem Nutzeffecte von fast 50 % zwei Pferdekräfte mit den untersuchten Maschinen leicht übertragen werden können.

Die Tabelle IV belehrt uns endlich, dass die versuchten Maschinen einen zu kleinen Widerstand besassen, als dass sie die Kraft mit günstigem Erfolge auf mehr als 1km zu übertragen vermochten. Bei einer Leitung von 6km Drahtlänge sank der Nutzeffect sogar auf 23 % zurück, obschon die Tourenzahlen erheblich vermehrt wurden.

Die Wärme, in welche sich der elektrische Strom in einem Leiter umsetzt, ist dem Quadrate der Stromstärke und dem Widerstande des Leiters proportional.[1]) Handelt es sich daher um die Fortpflanzung von sehr grossen Arbeiten, z. B. von 1000 Pferdekräften und mehr auf grosse Entfernungen, so wird man es im Allgemeinen mit Strömen von ausserordentlicher Stärke zu thun haben, welche in dem den Strom leitenden Kabel von gewöhnlicher Dicke eine beträchtliche Menge Wärme erzeugen, die als Arbeitsverlust anzusehen ist. Um den Widerstand dieses Kabels und damit die Wärme zu vermindern, muss man für dasselbe ein sehr gut leitendes Material, also Kupfer, wählen und demselben einen verhältnissmässig grossen Querschnitt geben. Hieraus folgt, dass man bei der Fortpflanzung der Kraft Anordnungen treffen muss, dass trotz der grossen Arbeit, welche zu übertragen ist, die Stromstärke im Kabel und in den Maschinen in den richtigen Grenzen bleibe und damit ein Uebermaass von Wärme verhütet werde.

---

[1]) Vgl. Abth. XVII.

Um den Elektromotor unter den günstigsten Bedingungen arbeiten zu lassen, muss nach *Dr. C. William Siemens* der Widerstand in der Maschine selbst im Allgemeinen sich nach der Natur der zu verrichtenden Arbeit richten, für quantitative Wirkung aber eine Widerstands-Einheit (1 *S.-E.*) nicht viel überschreiten. Ist der Widerstand grösser, so wird ein erheblicher Theil der Arbeit in den Drähten in Wärme umgesetzt und geht als Arbeit verloren. Der Widerstand ausserhalb der stromgebenden Maschine, für welche man den inneren Widerstand ebenfalls als eine Einheit annehmen kann, besteht aus dem Widerstande des die beiden Maschinen verbindenden Kabels und dem des Elektromotors. Nach einem anderen Gesetze soll aber der äussere Widerstand des Stromgebers etwas, aber nicht viel grösser sein, als der innere Widerstand desselben; nehmen wir ihn zu 1½ Einheiten an, so kommt auf das Kabel bloss ein Widerstand von ½ Einheit, wonach sich für die einzelnen Entfernungen der beiden Maschinen von einander die Dimensionen des Kabels leicht bestimmen lassen. Nach der Berechnung von *William Siemens* würde bei einer Entfernung von einer halben englischen Meile (0,8 km) ein 0,23 engl. Zoll (ca. 6mm) starker Kupferdraht den verlangten Widerstand von ½ Einheit besitzen. Wird die Entfernung verdoppelt, so wird der Widerstand des Kabels zweimal so gross und man muss, um den Widerstand wieder auf das frühere Maass von ½ Einheit zu bringen, den Querschnitt des Kabels verdoppeln. Die Verdoppelung der Länge und zugleich des Querschnittes vergrössert aber das Gewicht des Kabels im quadratischen Verhältnisse zu seiner Länge, so dass beispielsweise ein Kabel von 30 englischen Meilen Länge ein 60^2 oder 3600mal so grosses Gewicht haben muss, als ein Kabel von ½ Meile mit dem vortheilhaftesten Widerstande von ½ Einheit. Hierbei ist aber nicht zu übersehen, dass bei diesem Widerstande im Kabel die Stromstärke selbst nicht

begrenzt ist und in einem und demselben Stromkreise je nach der Stromstärke 100 oder 1000 Maschinen betrieben werden können. Die Stromstärke selbst kommt dabei nur insoweit in Betracht, als die durch den Strom erzeugte Wärme proportional zu dem Quadrate dieser Stromstärke steht und abgeleitet werden muss, wenn sie sich nicht in gefahrdrohender Weise im Kabel ansammeln soll. *W. Thomson* schlägt daher vor, statt eines massiven Leitungsdrahtes von Kupfer aus dem dazu erforderlichen Metall eine kupferne Röhre anzufertigen und beständig einen Strom kalten Wassers durch dieselbe fliessen zu lassen, welches an gewissen Stellen in die Röhre ein- und an anderen Stellen wieder ausgelassen werde. Der Umstand, dass bei der Fortpflanzung von sehr bedeutenden Arbeitskräften, z. B. von 1000 Pferdekräften, ganz enorme Strom-Intensitäten in dem Stromgeber erzeugt und durch den Leitungsdraht in die Ferne fortgepflanzt werden, folglich auch eine starke Wärme-Entwickelung in dem Drahte unvermeidlich ist, führt zu der Ueberlegung, ob es denn nicht möglich ist, durch geeignete Combinationen bedeutende Mengen Elektricität in die Ferne fortzuleiten, ohne die Stromstärke selbst in dem leitenden Kabel erheblich zu erhöhen.

Thomson und *Houston*[1]) haben sich mit dieser Frage eingehend beschäftigt und sind zu dem Resultate gekommen, dass die gesammte Kraft der Niagara-Fälle sich auf eine Entfernung von 500 (englischen) Meilen und mehr durch ein kupfernes Kabel übertragen lasse, welches nicht dicker zu sein braucht als $^1/_2$ Zoll engl.; sie begründen diese Behauptung durch folgende Betrachtung.

Wir nehmen zuerst an, dass die beiden elektrischen Maschinen, nämlich der Stromgeber *A* und der Elektro-

[1]) *P. Higgs,* Electric Transmission of Power, London, *E. & F. N. Spon,* 1879.

motor B, durch einen Leitungsdraht von einer Meile Länge mit einander verbunden sind. Die elektromotorische Kraft für den durch die Leitung fliessenden Strom, welcher die Differenz ist zwischen zwei aus A und B einander entgegenfliessenden Strömen, sei gleich Eins; der Widerstand der Drahtwindungen in A und B zusammen sei $= 1$, und der Widerstand von einer Meile Kabel einschliesslich des Widerstandes der Verbindungen mit den Maschinen und der Erde sei $= 0{,}01$. Es ist dann die im Kabel vorhandene Stromstärke S nach dem *Ohm*'schen Gesetze

$$S = \frac{1}{1 + 0{,}01} = \frac{1}{1{,}01}. \quad \text{(I.)}$$

Schaltet man nun in den Stromkreis einen zweiten Stromgeber $A_,$ und einen zweiten Elektromotor $B_,$, so wie in der Verlängerung der Leitung noch eine zweite Meile Kabel ein, so wird dadurch sowohl die elektromotorische Kraft als auch der Widerstand verdoppelt, die Stromstärke bleibt daher ungeändert. Bezeichnet man dieselbe mit $S_,$, so ist nun

$$S_, = \frac{1 + 1}{1{,}01 + 1{,}01} = \frac{2}{2{,}02} = \frac{1}{1{,}01}. \quad \text{(II.)}$$

Durch das Hinzufügen der beiden Maschinen $A_,$ und $B_,$ wird es also möglich, die Länge des Kabels zu verdoppeln, ohne die Stromstärke zu ändern, denn es ist $S = S_,$. Wir haben in diesem Falle die doppelte Umsetzung von Arbeit in Elektricität auf der einen Station und eine doppelte Wiedergewinnung von Arbeit auf der entfernten Station, mit anderen Worten, die Fortpflanzung einer doppelten Menge von Kraft ohne Vergrösserung der Stromstärke im Kabel.

Wir wollen nun die Anzahl der Stromgeber bei A und ebenso der Elektromotoren bei B bis auf 1000 vermehren; die Entfernung zwischen den beiden Stationen soll ebenfalls 1000mal so gross, also das Kabel mit Bezug auf den ersten Fall unter Beibehaltung des Querschnittes 1000 Meilen lang werden, so wird die Stromstärke im Kabel immer noch

dieselbe sein, wie in den vorigen beiden Fällen, nämlich $\frac{1000}{1000 + 10} = \frac{100}{101} = \frac{1}{1{,}01}$. Wir haben dann an dem einen Ende des Kabels eine tausendfache Umwandlung von Kraft in Elektricität, und am anderen Ende desselben eine tausendfache Arbeitsleistung durch diese Elektricität, ohne die Stromstärke irgendwie zu vergrössern.

Da die elektromotorische Kraft in demselben Verhältnisse wie die Grösse der übertragenen Kraft wächst, so muss auch die Isolation des Kabels und der elektrischen Maschinen in dem gleichen Verhältnisse erhöht werden, was ohne Zweifel in der Praxis seine grossen Schwierigkeiten haben wird.

Gesetzt nun, die Dynamo-Maschine *A* habe einen inneren Widerstand von 40 Einheiten (*Siemens-E.* oder *Ohms*), die elektromotorische Kraft sei 400 *Volts*, der Widerstand des Elektromotors *B* sei 60 Einheiten und des eine Meile langen Kabels sei 1 Einheit, so ist die Stromstärke

$$S = \frac{400}{40 + 1 + 60} = \frac{400}{101}.$$

Wenn man jedoch 1000 Stromgeber *A* und 1000 Elektromotoren *B* und 1000 Meilen Kabel von der vorigen Beschaffenheit anwendet, so wird nun die Stromstärke sein

$$S_{,} = \frac{1000 \times 400}{1000 \times 101} = \frac{400}{101}.$$

Die 1000fache Umsetzung und Wiedergewinnung der Kraft oder die Uebertragung der 1000fachen Kraft geschieht also bei derselben Stromstärke im Kabel wie in dem Falle, dass die Einheit der Kraft fortgepflanzt werde.

Ein Stromgeber der vorgedachten Art wird bei geeigneter Construction des Elektromotors erfahrungsmässig eine Betriebsmaschine von 3 bis 5 Pferdekräften erfordern; um also 1000 Maschinen dieser Art in Betrieb zu setzen, werden Naturkräfte oder Arbeitsmaschinen von 3000 bis 5000 Pferde-

kräften erforderlich sein, welche sich in Elektricität umsetzen und in der Entfernung von 1000 Meilen eine Arbeitsleistung von 50 %, d. h. von 1500 bis 2500 Pferdekräften geben.

Es lässt sich leicht berechnen, welchen Durchmesser ein kupfernes Kabel von 1000 Meilen haben muss, um bei dem angenommenen Widerstande von 1 Einheit pro Meile den oben genannten Strom fortzuleiten; die Rechnung ergibt ungefähr 1/4 Zoll engl. Beträgt jedoch die Entfernung der beiden Stationen nur 500 Meilen, so kann der Widerstand pro Meile verdoppelt, also der Querschnitt auf die Hälfte reducirt werden; der Durchmesser des Kabels beträgt dann nicht ganz 1/5 Zoll. Für die Kraftübertragung von 1 Million Pferdekräften ergibt die Rechnung, dass unter den oben angenommenen Voraussetzungen der Durchmesser des dazu erforderlichen Kupferkabels etwa 3 Zoll betragen muss.

Hiernach scheint es, dass die Befürchtungen, es werde die Fortpflanzung von Arbeitskräften auf grössere Entfernungen wegen der Dicke und der Kosten des dazu erforderlichen kupfernen Kabels in engen Grenzen bleiben, nicht begründet ist, da die Möglichkeit vorliegt, bei geeigneter Combination der Maschinen und des Kabels selbst ganz aussergewöhnlich grosse Arbeitskräfte, wie sie in der Natur durch zahlreiche Wasserfälle, durch Ebbe und Fluth u. s. w. gegeben sind, mittelst sehr mässiger Maschinen und Kabel von verhältnissmässig geringer Dicke mit erträglichem Verluste auf sehr grosse Entfernungen zu übertragen.

127. Anwendungen. Eine der ersten praktischen Anwendungen, die Kraft einer Maschine auf elektrischem Wege in die Entfernung zu übertragen, wurde im Jahre 1876 in den Artillerie-Werkstätten von St. Thomas d'Aquin gemacht, in denen seit dieser Zeit eine höchst subtile Theilmaschine mit einer weit entfernten Dampfmaschine durch Vermittlung zweier *Gramme*'scher Maschinen betrieben wird, mit der

allerdings nur geringen Kraft von kaum einem Kilogramm-Meter. Grossartiger ist schon die Anwendung, welche im Jahre 1878 der Ingenieur *Cadiat* in Paris (Boulevard Richard Lenoir) machte.[1]) Am Ende des Fabrikgebäudes befand sich eine Werkstätte für galvanische Verkupferung, in welcher eine *Gramme*'sche Maschine mittelst einer Locomobile in Betrieb gesetzt wurde. In einem anderen Theile des Terrains befand sich eine mechanische Werkstätte, die mittelst einer achtpferdigen Dampfmaschine betrieben wurde. Diese beiden 150 m von einander entfernten Ateliers wurden durch zwei Kupferdrähte, die über den Hof weg wie Telegraphendrähte auf Isolatoren geführt wurden, mit einander verbunden. Auf jeder Station war eine *Gramme*'sche Maschine in diese Leitung eingeschaltet, von denen die neben der achtpferdigen Dampfmaschine aufgestellte und von ihr getriebene Maschine als Stromgeber diente, die andere aber als Elektromotor an die Stelle der Locomobile trat, um die galvanoplastische Maschine in Gang zu halten. Ein Wärter für die Locomobile wurde dadurch überflüssig und die ganze Einrichtung bewährte sich in jeder Beziehung.

Eine weitere Anwendung von der elektrischen Kraftübertragung machten *Chrétien & Felix* in der Zuckerfabrik zu Sermaize (Departement der Marne). Der grösste Theil der in dieser Fabrik verarbeiteten Zuckerrüben wurde durch Schiffe auf dem Marne-Rhein-Canal zugeführt. Diese Schiffe wurden im Hafen von Sermaize, der in gerader Linie nur 100 m von der Fabrik entfernt ist, ausgeladen. Die Fabriklocale wurden seit vier Jahren während der Arbeitsperiode durch elektrisches Licht erleuchtet und es wurde dann die Einrichtung getroffen, die *Gramme*'sche Lichtmaschine bei Tage zum Ausladen der Schiffe, zur Nachtzeit aber zur Beleuchtung der Fabrikräume zu benutzen. *Chrétien* liess

[1]) *Carl*, Zeitschrift für angewandte Elektricitätslehre, I, S. 287.

zu diesem Zwecke eine den Baggermaschinen ähnliche Vorrichtung herstellen. Eine mit Schaufeln versehene Kette ohne Ende läuft in beständiger Bewegung um eine Scheibe; sie steigt in das Innere des Schiffes hinab, geht in einer schiefen Ebene auf den Quai hinauf und auf der anderen Seite der Scheibe in entgegengesetzter Richtung wieder zum Schiffe hinab. Die Schaufeln werden in dem Moment, wo sie durch das Schiff gehen, ohne in ihrer Bewegung einzuhalten, von Arbeitern mit Rüben angefüllt. Im höchsten Puncte ihres Weges werden die Schaufeln umgekehrt, die Rüben fallen in eine Rinne und von hier in einen Wagen, der sie zur Fabrik bringt. Diese Hebemaschine (Elevator) wird durch einen *Gramme*'schen Elektromotor in Bewegung gesetzt; letzterer steht durch zwei Kupferdrähte von 3mm Dicke und etwa 100m Länge mit einer zweiten *Gramme*'schen Maschine, dem Stromgeber, in Verbindung, der seine Bewegung von der Dampfmaschine der Fabrik erhält.

Mit dieser Einrichtung wurden während der Arbeitsperiode 1878—1879 400 Tonnen Rüben ausgeladen, und es wurde beabsichtigt, für die folgende Campagne neue kräftigere elektrische Maschinen aufzustellen, um damit 2000 Tonnen ausladen zu können.

Durch solche Erfolge ermuthigt, haben *Chrétien & Felix* die Kraftübertragung zum Betriebe von Pflug-Haspeln anzuwenden versucht, um mittelst derselben ein Feld in der Nähe der Fabrik von Sermaize umzupflügen. Zur Rechten und Linken des zu bearbeitenden Feldes sind auf vierrädrigen Wagen montirte Dynamo-Maschinen aufgestellt, welche als Haspel wirken und auf eine Trommel ein Drahtseil aufrollen, an welchem ein Pflug mit vier Scharen befestigt ist. Von diesen Scharen sind immer nur zwei gleichzeitig in Thätigkeit; die beiden anderen stehen dann leer in der Luft. Ist etwa der linke Haspel in Thätigkeit, so geht der Pflug von rechts nach links und die rechts liegenden

Scharen ziehen ihre Furchen. Ist der Pflug bei dem linken Haspel angekommen, so legt man seine Scharen nach der anderen Seite um; man setzt dann den rechten Haspel in Bewegung, der Pflug geht von links nach rechts und zieht neue Furchen in entgegengesetzter Richtung.

Die beiden Haspel werden durch die auf ihnen befestigten Dynamo-Maschinen bewegt, welche den Strom von zwei anderen in der Fabrik fest aufgestellten ähnlichen Maschinen (den Stromgebern) erhalten. Mittelst eines Commutators kann man nach Belieben den rechten oder den linken Haspel in Drehung versetzen. Die vierrädrigen Wagen, welche die Haspel tragen, können überdies in gleicher Weise bewegt werden; es ist hierzu nur erforderlich, zwei Räder einzurücken, um die Bewegung der Dynamo-Maschinen nicht mehr auf die Haspel, sondern auf die Radachsen der Wagen zu übertragen, die Räder zu drehen und die Wagen von der Stelle zu bringen. In dieser Weise werden die Wagen nicht bloss nach jedem Gange des Pflugs verstellt, um neue Furchen neben den vorhergehenden zu ziehen, sondern auch am Morgen, um dieselben auf das Feld zu bringen, und des Abends, um sie unter ein Schutzdach zu ziehen.

In der durch Wasserkraft betriebenen chemischen Fabrik von *Shaw* in Greenwich liefert ein benachbarter Wasserfall die Kraft zum Betriebe einer Kreissäge, einer Drehbank und einer Vertical-Bohrmaschine. Zwei *Siemens*'sche Dynamo-Maschinen und eine Turbine dienen zum Betriebe der ganzen Fabrik. Die Turbine wird durch den Wasserfall und die eine Dynamo-Maschine durch die Turbine in Bewegung gesetzt. Der von dieser Dynamo-Maschine (dem Stromgeber) erzeugte Strom wird durch zwei Kupferdrähte zu der 150 Yards (137 m) entfernten, im Fabrikraume befindlichen zweiten Dynamo-Maschine (dem Elektromotor) geleitet, und hier die Kraft dieser letzteren Maschine durch Riemen auf die oben genannten Werkzeug-Maschinen übertragen.

Eine interessante Anwendung der Kraftübertragung durch Elektricität war auf der Gewerbe-Ausstellung zu Berlin im Jahre 1879 zu sehen.[1] *Dr. W. Siemens* hatte daselbst eine

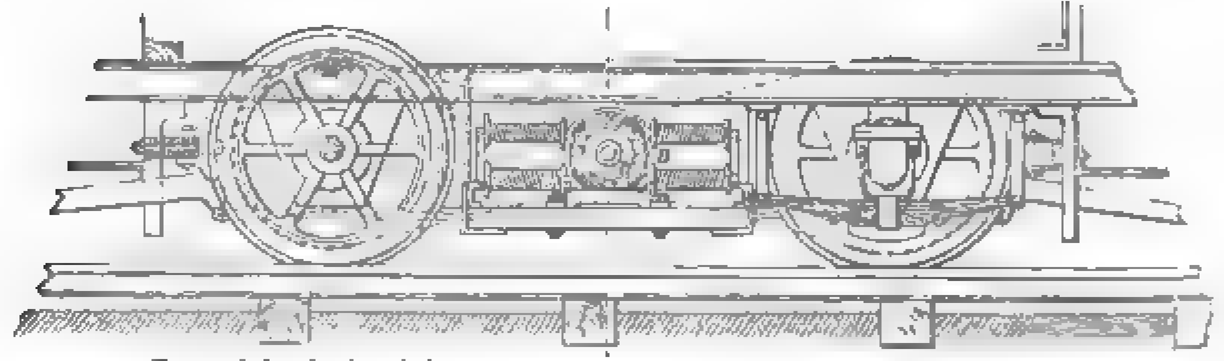
128. Elektrische Eisenbahn in Betrieb, welche aus einer 300m langen, in sich selbst geschlossenen schmalspurigen Schienenbahn bestand und die im Laufe des Sommers über 100 000 Personen beförderte. Auf dieser Bahn circulirte eine kleine elektrische Locomotive mit drei angehängten Personenwagen in einer Geschwindigkeit von 3 bis 4m. Die Laufschienen der Bahn bildeten die eine Leitung zu der im Maschinenraume der Ausstellung stehenden Dynamo-Maschine grösserer Sorte, während eine zwischen diesen Schienen angebrachte und möglichst von ihnen isolirte Mittelschiene das Ende der anderen Leitung bildete. Die Locomotive oder der Elektromotor war im Wesentlichen dem im Maschinenraume stehenden festen dynamo-elektrischen Stromgeber gleich; ein Drahtende des rotirenden Drahtsystems stand durch die Räder der Locomotive mit den Laufschienen und dadurch mit dem einen Pole des Stromgebers in leitender Verbindung, während das andere Ende dieses Drahtsystems durch schleifende Contactbürsten beständig mit der isolirten Mittelschiene und dadurch mit dem andern Pole des Stromgebers communicirte. Wenn der Stromkreis geschlossen und der Stromgeber mit etwa 600 bis 700 Umdrehungen pro Minute continuirlich gedreht wurde, so setzte sich die Locomotive mit grosser Kraft in Bewegung und durchlief mit constanter Geschwindigkeit die Bahn. Die Locomotive zog an ihrem Zughaken mit etwa 200kg, wenn die Wagen festgehalten wurden, und mit 70 bis 80kg während der Fahrt bei 3m Geschwindigkeit, was etwa einer Arbeitsleistung von drei effectiven Pferdekräften entspricht. Auffallend war hierbei,

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, I, S. 22 und 53. Vgl. den Vortrag von *Dr. W. Siemens*: „Ueber die dynamo-elektrische Maschine und deren Verwendung zum Betriebe von elektrischen Eisenbahnen."

dass diese Geschwindigkeit sich nur wenig änderte, wenn anstatt der gewöhnlichen Belastung der Personenwagen (mit 18 Personen) eine doppelte und selbst dreifache Belastung eintrat, und dass die Kraft des ersten Anziehens eine sehr bedeutende war; doch hat *Siemens* nachgewiesen, dass dieses eine Eigenthümlichkeit der elektrischen Kraftübertragungen überhaupt ist.

Durch die kleine Bahn der Gewerbe-Ausstellung in Berlin war das Interesse für dieses neue Transportmittel in den weitesten Kreisen wachgerufen und nahm in den vielfachen Anfragen aus allen Theilen der Welt nach Anlage- und Betriebskosten von elektrischen Bahnen eine so praktische Form an, dass die Firma *Siemens & Halske* zu einer kleinen Anlage der Art auf eigene Kosten und ohne Aussicht auf

Fig. 210.



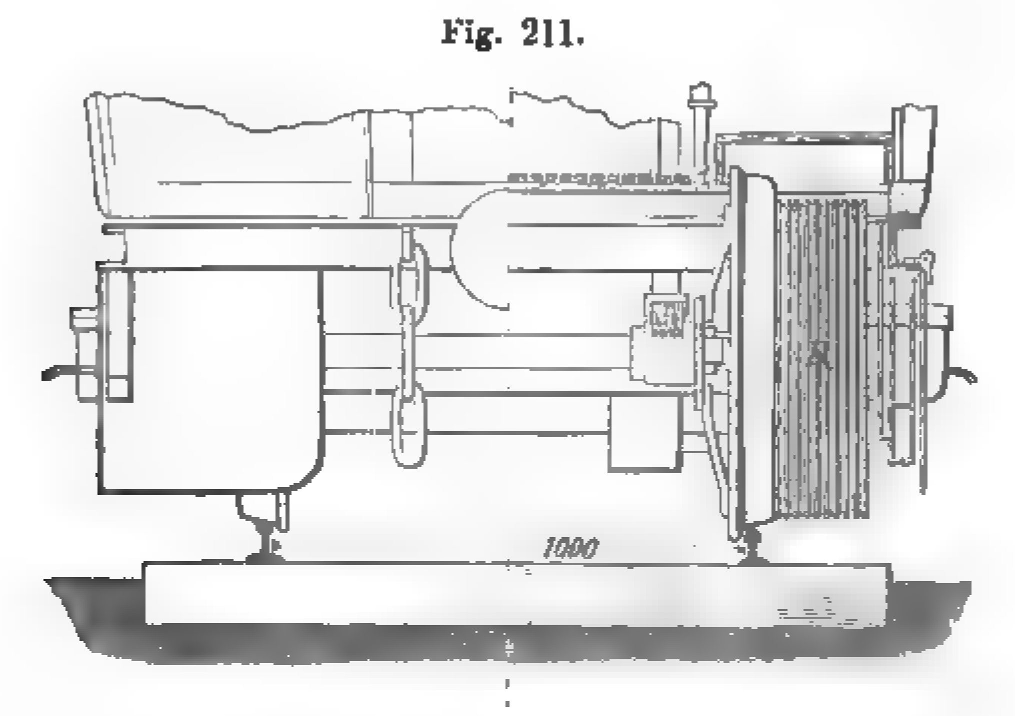
Der elektrische Wagen nach Siemens-Halske. (Längsschnitt.)

gewinnbringende Exploitation schreiten musste, damit nicht ausserhalb Deutschlands die erste ernsthafte Anwendung zur Ausführung käme. Hierzu bot sich in sofern ein günstiger Umstand dar, als sich zwischen dem Bahnhof Lichterfelde der Anhaltischen Bahn und der Hauptcadetten-Anstalt in Gr.-Lichterfelde noch der grössere Theil des Bahnkörpers einer ehemaligen Material-Transportbahn befand, welche während des Baues des Cadettenhauses mit normalspurigen Dampflocomotiven befahren worden war, nach Herstellung des Gebäudes aber zur Schaffung eines elektrischen Verkehrmittels überlassen wurde.

Hieraus ergab sich die Disposition (siehe Fig. 210), dass

der durch die im Maschinenhause stehende elektrodynamische Maschine erzeugte Strom der Schiene durch eine kurze mittelst Kabel hergestellte Leitung zugeführt, alsdann zum Elektromotor hingeleitet und von diesem durch die andere Schiene und ein Kabel zum Stromgeber zurückgeführt wird. Dieses System der Stromleitung hat allerdings eine technische Unbequemlichkeit im Gefolge, nämlich die erforderliche Isolirung des Wagengestelles von den Radkränzen, welche durch die Verwendung von Holzscheibenrädern erzielt wird. Damit aber der Strom von der Schiene bezw. dem Radkranz zu dem zwischen den Achsen des Wagens (Fig. 210)

Fig. 211.



Der elektrische Wagen nach Siemens-Halske. (Querschnitt.)

befestigten Elektromotor gelangen kann, führen vom Radkranze aus zu einer auf der Holzscheibe des Rades festsitzenden Metallbüchse Metallstreifen, gegen welche Federn schleifen, welche die unmittelbare Verlängerung eines Poles des Elektromotors, der „elektrischen Locomotiv-Maschine“ sind. (Vgl. Fig. 211.)

Als besondere Eigenschaften des elektrischen Wagens, der im Allgemeinen einem Pferdebahnwagen ähnlich construirt ist, sind noch zu erwähnen: die Construction einer elektrischen Umsteuerung der Maschine, sowie eine besondere

Vorrichtung, durch welche sowohl die Fahrgeschwindigkeit der Locomotive innerhalb gewisser Grenzen geregelt werden kann, als auch die nachtheiligen oft mit Funkenbildung in den Maschinen verbundenen Einwirkungen der plötzlichen Stromunterbrechung vermieden werden.

Die Disposition der ganzen Anlage ist aus den dem Berichte[1]) über die Excursion des Vereins für Eisenbahnkunde in Berlin am 21. Mai 1881 beigegebenen Figuren zu ersehen. Seitdem hat die Lichterfelder Bahn ohne wesentliche Störung mit grösster Regelmässigkeit ihren Dienst gethan; der elektrische Wagen in Lichterfelde macht seine Touren im regelmässigen Anschlusse an die sämmtlichen Personenzüge der Anhalter Bahn. Er soll mit der concessionell zulässigen mittleren Geschwindigkeit von etwa 20km fahren; er kann jedoch 35—40km Geschwindigkeit in der horizontalen und geraden Strecke bei voller Besetzung des Wagens mit 26 Personen (4800kg Totalgewicht) erreichen, wenn bei normalem Gange der Dampfmaschine nichts zur Mässigung der Geschwindigkeit geschieht.

Es hat sich bereits eine Gesellschaft gebildet, um eine Ausdehnung der Bahn bis zum Mittelpuncte des Dorfes Lichterfelde und zum Steglitzer Bahnhofe der Potsdamer Eisenbahn herbeizuführen. Die Firma *Siemens & Halske* ist ferner gegenwärtig mit der Einführung des elektrischen Betriebes der Pferdebahnwagen von Charlottenburg bis zum Spandauer Bock beschäftigt, bei welchem die Seilbahnleitung zur Verwendung kommen wird.

Worin diese besteht, wird aus folgendem Passus erhellen, den wir des grossen Interesses wegen einem Vortrage des genialen Erfinders der elektrischen Bahn, des Herrn *Dr. W. Siemens*, entnehmen:

„Die beiden in Lichterfelde verwendeten Maschinen sind, obwohl an Grösse und in der Anordnung der Constructionstheile verschieden,

[1]) *Glaser's* Annalen für Gewerbe und Bauwesen 1881, Bd. 8, Heft 12.

dennoch beide gleichmässig, sowohl zur Strom- als zur Kraftentwickelung anwendbar. Wenn der elektrische Waggon mit angemessener Geschwindigkeit auf den Schienen durch Pferde- oder Dampfkraft fortbewegt würde, so würde die stationäre elektrische Maschine durch den von der elektrischen Waggon-Maschine erzeugten Strom in Drehung versetzt werden und eine Arbeit leisten können.

Diese doppelte Verwendbarkeit derselben Maschine hat ein mehrfaches Interesse: Die durch Strom getriebene Maschine ist nämlich stets auch gleichzeitig unbeabsichtigter Weise eine Maschine, welche Strom erzeugt. Nun ist dieser Strom dem die Bewegung erzeugenden entgegengesetzt gerichtet, schwächt also letzteren, zieht den Nutzeffect beträchtlich herab und wurde, so lange der Kraftverlust beim Betriebe elektromagnetischer Kraftmaschinen als ein unnützer Consum von kostspieligen Materialien in galvanischen Batterien sich darstellte, als das hauptsächlichste Hinderniss der praktischen Anwendung solcher Kraftmaschinen mit Recht angesehen. Der Grad dieser Gegenstrom-Entwickelung in der Locomotive, also auch die Kraft derselben, hängt wesentlich ab von der Geschwindigkeit, mit welcher die Locomotiv-Maschine sich dreht, derart, dass bei gleichbleibender Kraftentwickelung des die dynamo-elektrische Maschine treibenden Motors innerhalb gewisser praktischer Grenzen mit zunehmender Geschwindigkeit die Kraft sich verringert, mit abnehmender sich vergrössert, wobei die verrichtete Arbeit sich selbstthätig ziemlich auf derselben Höhe hält. Die Versuche auf der Lichterfelder Bahn bestätigen dies auch vollständig; der Waggon, sich selbst überlassen, nimmt in der horizontalen Strecke bei sinkender Zugkraft eine immer wachsende Geschwindigkeit an, bis zu dem Augenblicke, in welchem die Differenz zwischen dem die Bewegung erzeugenden Strome und dem Gegenstrome constant wird, womit die Bewegung des Waggons eine gleichmässige wird; und in der Steigung verlangsamt er bei steigender Zugkraft seine Bewegung, bis die Gegenstrom-Entwickelung sich entsprechend gemässigt hat, womit ebenfalls die gleichmässige Geschwindigkeit sich herstellt; geht er — schliesslich — im Gefälle und wird ihm durch das Gefälle eine zusätzliche, nicht durch die Stromeswirkung erzeugte Geschwindigkeit zugeführt, so steigt auch in erhöhtem Grade die Gegenstrom-Entwickelung, welche von einer gewissen Grenze an bremsenden Einfluss ausübt, indem die Locomotiv-Maschine mehr als stromerzeugende, dynamo-elektrische Maschine wirkt und auf die stationäre Maschine unmittelbar zurückwirkt.

Aus dieser gegenseitigen Einwirkung der beiden Maschinen aufeinander ergibt sich besonders deutlich ihre Bindung zu einem Systeme, in welchem die Eigenschaften der verbindenden Theile, nämlich der Stromleiter, nicht gleichgültig sein können. In der That bestehen gewisse Relationen zwischen den inneren Stromleitern, den Draht-

wickelungen innerhalb der Maschinen und den äusseren Stromleitern: es soll der Widerstand, welchen die letzteren dem Durchgang des Stromes entgegensetzen, nicht grösser sein, als der Widerstand der Maschinen. Ist dies der Fall, so ist das Maass der Kraftübertragung und bezw. des Kraftverlustes als ein normales anzusehen; ist der Leitungswiderstand der äusseren Stromleiter grösser, so ist der Kraftverlust grösser. Wenn nun die Maschinen bezüglich ihrer Leitungswiderstände als etwas Gegebenes angenommen werden, so ergibt sich bei Projectirung einer Anlage die Forderung, Leitungen zu verwenden von analogem Leitungswiderstande; die Form der Leitungen kann eine sehr verschiedene sein, wenn nur die Möglichkeit vorhanden ist, ihnen einen genügenden Grad von Isolation zu geben und sie in zuverlässiger Weise mit der elektrischen Locomotive in leitende Verbindung zu setzen. Der verschiedenen Formen der Stromleiter, welche derartigen Ansprüchen genügen, gibt es eine sehr grosse Menge.

Als nächstliegend erscheint die Verwendung der Laufschienen, welche aus Gründen der Tragfähigkeit einen so bedeutenden Querschnitt zu haben pflegen, dass bei mehreren Kilometern Entfernung der Strom keinen grösseren Widerstand in ihnen findet, als in den Drahtleitungen der Maschinen, was übrigens in jedem Falle rechnungsmässig ermittelt werden muss. Es leuchtet nun ohne Weiteres ein, dass der Kraftverlust von der Entfernung zwischen Locomotive und Aufstellungsort der Stromerzeugungs-Maschine unabhängig ist, wenn nur die Leitungsfähigkeit der Stromleiter entsprechend vergrössert wird, so dass der Gesammt-Leitungswiderstand das bestimmte theoretisch gebotene Maass nicht überschreitet. Diese Vergrösserung kann bewirkt werden durch Hinzufügung von parallelen Leitern zu den Laufschienen, durch Hinzufügung ganz separater Zuleitungsdrähte unter gänzlichem oder theilweisem Verzicht auf die Benutzung der Laufschienen, durch Hinzunahme des metallischen Bahn-Oberbaues zur Leitung (z. B. bei Hochbahnen) oder durch andere Mittel. Diese Mittel zur Vergrösserung der Leitungsfähigkeit sind so untrüglich, dass eine aussergewöhnliche Länge einer elektrischen Bahn technische Schwierigkeiten bei Eingrenzung des Kraftverlustes auf das theoretisch erreichbare Maass nicht darbietet; dagegen steigen die Ausgaben durch die unabweisliche Vergrösserung des Querschnittes der Stromleiter mit der Länge in einem directen Verhältnisse, und es ergibt sich aus diesem ökonomischen Grunde das Bedürfniss, ein Mittel zur Verfügung zu haben, durch welches auf andere Weise als durch die erörterte Querschnitts-Veränderung, das richtige Verhältniss zwischen dem Leitungswiderstande der äusseren Stromleiter und demjenigen der Maschinen hergestellt werden kann. Dieses Mittel ist auch gegeben in der Vergrösserung des letzteren durch Verwendung grösserer Drahtquantitäten oder dünnerer Drähte zur Herstellung der Elektromagnete

und der Inductionsspiralen, welchem alsdann äussere Stromleiter von geringerer Leitungsfähigkeit, also namentlich geringerem Querschnitte gegenüberstehen. Auf diese Weise ist die Frage, welche Stromleiter bei Projectirung einer elektrischen Bahn-Anlage zur Verwendung kommen sollen, mehr eine ökonomische als eine elektro-technische. Uebersehen darf hierbei allerdings nicht werden, dass elektrische Ströme, welche geeignet sind, grössere Leitungswiderstände zu überwinden, auch einen höheren Grad von Isolation erheischen, als z. B. den Schienen der Lichterfelder Bahn zu Theil geworden ist, deren Isolation einfach vernachlässigt worden ist, weil sie die ausserordentliche Einfachheit des Oberbaues und die geringen elektro-technischen Ansprüche einer auf Säulen errichteten Bahn veranschaulichen soll. Die Lichterfelder Anlage arbeitet mit einem beträchtlichen, durch Rechnung und Versuche im Voraus bekannten Stromverluste, welcher namentlich aus dem im Niveau der Strasse vor dem Cadetten-Hause verlegten Stücke des Geleises resultirt, woselbst der Strom namentlich bei feuchtem Wetter von der einen Schiene durch den Sand zur anderen Schiene bezw. zur Erde geht.

Die Isolationsmittel, welche angewendet werden müssen und können, sobald die bedeutendere Länge einer Bahn die Anwendung von Stromleitern von geringerem Querschnitte und von Maschinen mit grösserem Widerstande wünschenswerth macht, richten sich nach den localen Umständen. Eine Säulenbahn verlangt keine besonderen Isolationsmittel; die Constructionstheile des Oberbaues selbst, also die hölzernen Schwellen, auf welche die beiden von einander isolirt zu haltenden Schienen befestigt werden, bilden das Isolationsmittel. Eine Bahn, welche einen separaten Bahnkörper hat oder auf bestehenden Strassen so angelegt ist, dass die Schienen im Allgemeinen nur die Schwellen und nur ausnahmsweise den Erdboden berühren, kann, wie das Lichterfelder Beispiel zeigt, schon eine mehrere Kilometer lange Ausdehnung haben, ohne besondere Isolationsmittel zu verlangen. Uebrigens sind derartige Mittel in der Form von Schienenstühlen aus Hartglas, von Asphalt-Isolatoren zwischen Schiene und Schwelle, von Asphaltbekleidungen der Schienen bereits mit Erfolg versucht worden. Die eigentliche Strassenbahn dagegen, deren Schienen bei sehr nassem Wetter mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehen, verlangt eine andere Art der Behandlung; das jederzeit sicher wirkende Mittel zur Vermeidung von Stromverlust besteht in der Herstellung einer sogenannten Draht- oder Drahtseil-Leitung auf Isolatoren besonderer Form an Telegraphenstangen in Verbindung mit einem auf diesen völlig isolirten Stromleitern laufenden, von dem Waggon an einem Leitungsseile mitgezogenen kleinen Contactwagen. Dieses Mittel ist von universeller Anwendbarkeit, so dass auch dem elektrischen Betriebe von Strassenbahnen an Stelle des Pferdebetriebes technische Schwierig-

keiten nicht im Wege stehen. Es ist nicht ausgeschlossen, dass auch die Benutzung der Schienen als Stromleiter, namentlich bei mässigen Längen von Strassenbahn-Linien trotz des Stromverlustes immer noch einen ökonomisch genügenden Betrieb gestattet, namentlich, wenn bei Neu-Anlagen die Schienen mehr oder weniger isolirt verlegt werden können. Bei Tunnel- und Grubenbahnen, bei denen die Tunnelwandungen eine häufige Unterstützung der besonderen Leiter gestatten, sowie bei solchen längeren Bahnen auf offener Strecke, bei denen eine grosse Geschwindigkeit der Fortbewegung verlangt wird, kommen anstatt der isolirten suspendirten Draht- oder Kabel-Leitungen passend construirte Schienen in Anwendung, die ein für grosse Geschwindigkeiten besser geeignetes, vollständiges Geleise für den Contactwagen bilden.

Die durch die Betrachtung der elektrischen Bahn oft hervorgerufene Frage, ob und wie weit auf denselben als Stromleiter dienenden Schienen oder, allgemein gesagt, in demselben Stromkreise mehrere Locomotiven gleichzeitig bewegt werden können, ist sowohl theoretisch als praktisch bejahend zu beantworten; es handelt sich auch hier lediglich um Herstellung des passenden Verhältnisses der Leitungswiderstände der äusseren Stromleiter zu denjenigen der Maschinen; hinzuzufügen wäre noch, dass gerade ein solcher Betrieb, bei welchem die Nutzlast weniger zu grossen Zügen zusammengestellt, als durch viele einzeln laufende elektrische Wagen transportirt wird, dem Wesen der elektrischen Beförderung besonders entspricht, da die elektrische Locomotiv-Maschine nicht, wie eine Dampflocomotive, an und für sich ein bedeutendes Adhäsionsgewicht besitzt. Da, wo die Umstände die Beförderung der Nutzlast in Zügen erheischen, besteht naturgemäss auch kein Hinderniss des elektrischen Betriebes, dass die eigentlichen elektrischen Locomotiven, welche also keinerlei Nutzlast selbst tragen, sondern nur zum Ziehen bestimmt sind, als Vereinigung mehrerer grösserer oder kleinerer Maschinen oder auch als sehr starke Einzelmaschinen construirt werden können."

129. Die durchaus gelungenen Versuche mit der elektrischen Eisenbahn haben überzeugend nachgewiesen, dass die Elektricität mit Vortheil zur Beförderung von Lasten auf Schienen benutzt werden kann, und haben denselben genialen Erfinder der dynamo-elektrischen Maschine ermuthigt, Entwürfe zur Herstellung von elektrischen Hochbahnen nach Art der americanischen Elevated Railroads oder Säulenbahnen in sehr verkehrreichen Städten, sowie einer elektrischen Post als Ersatz oder Ergänzung der pneumatischen Rohrpost auszuarbeiten.

Die elektrischen Hochbahnen sollen in sehr bevölkerten Städten, auf Säulen erbaut, ein neues Communicationsnetz für einen schnellen Personen- und Güterverkehr herstellen, welches den Strassenverkehr nicht hindert und nicht durch ihn gehindert wird. Wenn man gegenwärtig in New-York und in anderen Städten solche erhöhte Schienenbahnen mit den schweren Dampflocomotiven befährt, ohne dass Unglücksfälle dabei vorkommen, so dürfte der Betrieb solcher Bahnen mit den viel leichteren Dynamo-Maschinen weit einfacher sich gestalten und eine noch grössere Sicherheit gewähren.

Die elektrische Post soll einen schnellen Briefverkehr für grosse Entfernungen ermöglichen, wie ihn die Rohrpost gegenwärtig für kleine Entfernungen innerhalb des Gebietes einer Stadt vermittelt. Eine solche Post würde aus einer schmalspurigen verdeckten Schienenbahn bestehen, die auf oder neben einem Eisenbahndamm herläuft und auf welcher kleine leichte vierrädrige mit Briefen angefüllte Wagen mit etwa 30cm hohen Rädern laufen. Das eine Schienengeleise ist von der Erde isolirt, das andere steht durch die Tragsäulen mit der Erde in Verbindung; die Achsen der Wagenräder bestehen aus zwei von einander isolirten Theilen, von denen der eine Theil die Drehungsachse einer kleinen *Siemens*'schen Dynamo-Maschine bildet, so dass jeder Umdrehung des rotirenden Cylinders eine Umdrehung der Wagenräder entspricht. Wird daher ein stehender dynamoelektrischer Stromgeber an irgend einer Stelle der Bahn zwischen die beiden Schienen eingeschaltet, so bildet die eine Schiene und die darauf befestigte metallische Bahnbedeckung die eine isolirte Leitung, während die Erde vermittelst der eisernen Tragsäulen und der zweiten Schiene die Rückleitung bildet. Die leitende Verbindung dieser Schienen mit den Umwindungsdrähten des Wagens (des Elektromotors) wird durch die Räder und die beiden Theile der Radachse hergestellt. Es würde da genügen, alle 20km

eine stehende Dynamo-Maschine als Stromgeber aufzustellen, damit die als Briefbehälter dienenden Wagen 800 bis 1000 Radumdrehungen machen und folglich mit Eisenbahngeschwindigkeit ihre Strecke durchlaufen. Sind die stehenden Dynamo-Maschinen erheblich stärker wie die Wagenmaschinen, so wird die Geschwindigkeit eines Wagens sich nicht merklich vermindern, wenn mehrere Wagen gleichzeitig auf derselben Bahn laufen, und es können dann Briefwagen in kurzen Zeitintervallen nach einander abgelassen werden.

Eine weitere Anwendung hat die Kraftübertragung durch dynamo-elektrische Maschinen in dem von der Firma *Siemens & Halske* construirten

130. Elektrischen Aufzuge für Personen gefunden.[1]) Aufzüge von Personen, wie sie in grossen Hotels und Geschäftslocalen häufig eingerichtet werden, um den Gästen die Mühe und den Zeitaufwand des Treppensteigens zu ersparen, werden bisher fast ausnahmslos hydraulisch eingerichtet. Seilaufzüge, wie sie zur Hebung von Waaren u. s. w. allgemein benutzt werden, erachtet man als nicht sicher genug für die Personenbeförderung. Der hydraulische Aufzug ist aber sehr kostspielig in der Anlage und häufig kaum ausführbar, da er die Einsenkung eines Druckrohres von gleicher Tiefe wie die grösste Höhe der beabsichtigten Hebung bedingt. Auch der Betrieb solcher hydraulischen Aufzüge ist gewöhnlich sehr kostspielig, da jede einzelne Hebung die Füllung des Druckrohres mit unter hohem Druck stehendem Leitungswasser erfordert.

Der elektrische Aufzug soll nun diese Mängel des hydraulischen Aufzuges beseitigen, ohne eine geringere Sicherheit wie dieser darzubieten. Er beruht auf der Kraftübertragung durch dynamo-elektrische Maschinen. Das geringe Gewicht

---

[1]) Nach dem Vortrage des Herrn Geh. Regierungsrathes *Dr. Siemens*. „Der elektrische Aufzug", gehalten in der Sitzung des Elektrotechnischen Vereines vom 26. October 1880.

einer solchen Maschine im Vergleich mit ihrer Arbeitsleistung gestattet, die Maschine auf den durch sie zu bewegenden Fahrstuhl zu setzen und ihr durch Drahtleitungen den bewegenden elektrischen Strom zuzuführen. Die Einrichtung kann also in der Weise getroffen werden, dass die Maschine an einer festliegenden Leiter oder Zahnstange gleichsam hinaufklettert und den an ihr befestigten Fahrstuhl mitnimmt. Dieser feststehenden Leiter oder Zahnstange kann man jede gewünschte Festigkeit geben, so dass eine Gefahr ihres Bruches ganz ausgeschlossen ist. Bei sehr hohen Aufzügen kann man die Zahnstange auch an den Wandungen des Gebäudes oder Schachtes beliebig oft befestigen, so dass sie sich nicht in der ganzen Länge selbst zu tragen braucht.

Der erste derartige Aufzug, der von *Siemens & Halske* in der Mannheimer Industrie-Ausstellung ausgestellt wurde, und der dazu diente, das Publicum auf einen Aussichtsthurm von ungefähr 20m Höhe emporzuheben, ist nach diesen Grundsätzen gebaut.

Fig. 212 zeigt den Fahrstuhl in seiner höchsten Stellung auf der Höhe des Aussichtsthurmes, und Fig. 213 erläutert die Anordnung der unter dem Fahrstuhl angebrachten dynamoelektrischen Maschine M, einer von ihr getriebenen Schraube ohne Ende S, sowie zweier in die Leiter L eingreifenden Zahnräder R_1 und R_2. Die Leiter L wird von zwei Paar, oberhalb und unterhalb des Fahrstuhls angebrachten Rollen berührt, welche den Strom aus der Leiter L der Maschine M zuführen.

Von dieser wird der Strom zu Drahtseilen geführt, welche in Verbindung mit der Leiter die primäre und secundäre Dynamo-Maschine mit einander leitend verbinden sollen. Die Drahtseile finden indessen nicht nur als Leiter der Elektricität Verwendung; sie dienen vielmehr auch dazu, die Arbeit der Hebung der Last des Fahrstuhles und der Dynamo-Maschine zu ersparen und die Arbeitsleistung der

Dynamo-Maschine beim Auf- und Niedergang des Fahrstuhles annähernd gleich zu machen. Zu dem Zwecke ist das eine Ende der beiden, über zwei Rollen am oberen Ende des Aussichtsthurmes laufenden Drahtseile an dem Fahrstuhle

Fig. 212.



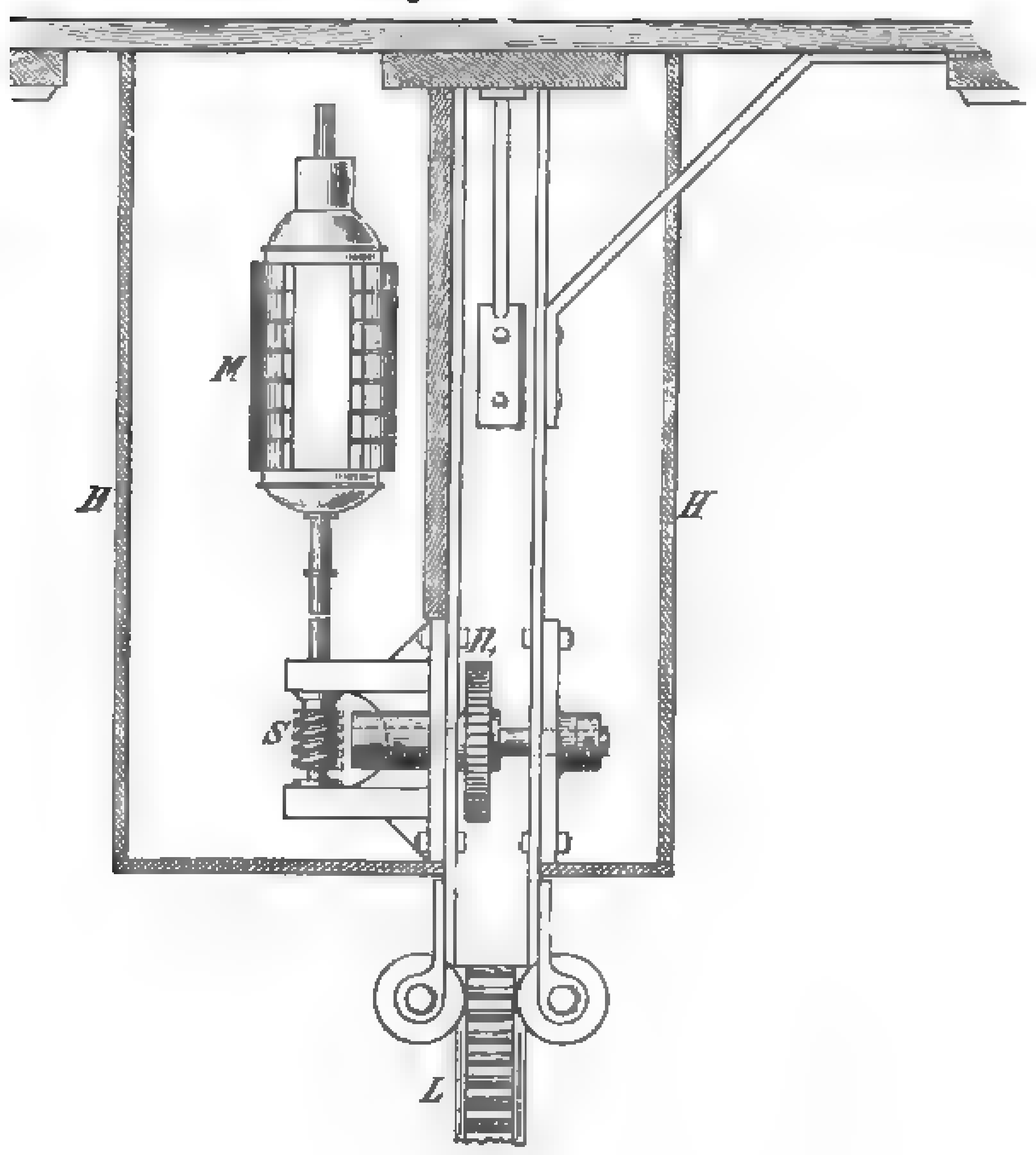
Der elektrische Aufzug.

befestigt, während an dem anderen Ende derselben ein Gegengewicht hängt, welches den Fahrstuhl und seine mittlere Belastung auszugleichen bestimmt ist.

Die Zahnstange L ist, wie die Figuren 212 und 213 erkennen lassen, eine aus Stahl bestehende Leiter, deren

ngen aus dreifachen Stahlblechen von etwa 5 mm Dicke
60 mm Breite bestehen, die derartig mit einander ver-
.et sind, dass immer mindestens die volle Tragfähigkeit
ier Bleche in jeder der beiden Wangen zur Geltung

Fig. 213.



Die Anordnung der unter dem Fahrstuhl angebrachten dynamo-elektrischen Maschine.

ommt. Die beiden Wangen sind durch vernietete Sprossen
Rundstahl von 15 mm Dicke mit einander zu einer leiter-
ıgen Zahnstange verbunden. Die Sprossen haben einen
stand von 35 mm, von Mitte zu Mitte gemessen. Diese

Leiter L reicht in senkrechter Lage von der Höhe des Aussichtsthurmes zum Boden und ist oben und unten an starken Balken sicher befestigt. Die Leiter geht durch die Mitte des Fahrstuhles, unter welchem sich, von einem sie rings umschliessenden Holzkasten H umgeben, die Dynamo-Maschine M befindet. Die Axe dieser Dynamo-Maschine endet in einer Schraube ohne Ende S, die zwei Zahnräder R_1 und R_2 dreht, welche von beiden Seiten in die Sprossen der Leiter eingreifen.

Die Ganghöhe der treibenden Schraube ist so klein, dass ein Hinabschnellen des Fahrstuhles bei Unterbrechung des Stromes nicht eintreten kann. Ein auf dem Fahrstuhle befindlicher Hebel ist mit einem Stromschalter derartig verbunden, dass bei der mittleren Stellung des Hebels die Stromleitung unterbrochen ist, während die Hebelstellungen nach rechts oder links bewirken, dass die Dynamo-Maschine und mit ihr die treibende Schraube ohne Ende in dem einen oder anderen Sinne rotiren, den Fahrstuhl mithin auf- oder abwärts bewegen. Durch passende Einrichtungen wird bewirkt, dass sich diese Umschaltung selbstthätig an jedem Endpuncte der Hebung bezw. Senkung vollzieht.

Durch den beschriebenen elektrischen Aufzug sind in den wenigen Wochen seiner Thätigkeit in der Mannheimer Ausstellung etwa 8000 Personen ohne jede Störung auf den Aussichtsthurm gehoben und wieder hinab befördert worden. Die Geschwindigkeit betrug etwa 0,5 m in der Secunde.

Als Vorzüge dieses Systems vor dem hydraulischen lassen sich namentlich anführen: 1) die verhältnissmässig billige Herstellung und leichte Aufstellung und 2) der billige Betrieb. Dies gilt namentlich dann, wenn ein Motor zum Treiben der primären Dynamo-Maschine bereits vorhanden ist, oder wenn sich mehrere benachbarte Aufzugsbesitzer zur Einrichtung einer gemeinsamen Maschinen-Anlage zum Betriebe desselben vereinigen.

Zur Hebung von Gütern, Baumaterialien u. s. w., bei welcher absolute Sicherheit nicht, wie bei der Personenbeförderung, erste Bedingung ist, wird man sich der oben beschriebenen Hebungs-Einrichtung ausser etwa bei Hebungen auf sehr bedeutende Höhen, wohl nicht bedienen und statt derselben die Hebung durch Drahtseile verwenden. Es wird aber in vielen Fällen sehr zweckmässig sein, elektrische Transmission zur Drehung der Seiltrommeln zu verwenden. Namentlich bei Bauten und anderen Hebe-Einrichtungen für vorübergehenden Gebrauch wird die elektrische Krafttransmission der Einfachheit und Leichtigkeit der Einrichtung und Aufstellung wegen sich häufig als sehr vortheilhaft erweisen.

131. Sonstige Anwendungen. Eine weitere Verwendung können die Dynamo-Maschinen zur Bremsung von Eisenbahnzügen finden. Nach *Cardew* soll auf der Locomotive sowohl wie auf jedem Wagen eine Dynamo-Maschine so angebracht werden, dass die rotirenden Anker der Maschinen auf den Räderachsen sitzen, welche mit einander so verbunden sind, dass der in dem Anker einer auf der Locomotive befindlichen Maschine erzeugte Strom sämmtliche Anker der anderen Maschinen durchläuft, demgemäss deren Anker in Umdrehung versetzt, so dass die zur Bewegung der Dynamo-Maschine verbrauchte Kraft nicht verloren geht, sondern der Zugkraft der Locomotive zu Hülfe kommt, und zwar in demselben Sinne, in welchem die Räder bereits durch die Zugkraft der Locomotive gedreht werden. Wenn der Zug halten soll, kehrt der Locomotivführer mittelst eines Umschalters die Richtung des Stromes um, so dass nun die Anker hemmend auf die Bewegung der Wagenaxen wirken und den Zug zum Stehen bringen.

Wir könnten diese Reihe von praktischen Anwendungen der Kraftübertragung durch Elektricität noch durch mehrere Beispiele fortsetzen; allein das Gesagte wird genügen, um zu zeigen, dass diese Art der Anwendung der Dynamo-Maschine

für die Zukunft sicher ein ebenso grosses und wichtiges Feld haben wird, als ihre Verwendung zur Erzeugung des elektrischen Lichtes. Sie ist ebenso geeignet, jede Art mechanischer Arbeit in elektrischen Strom umzusetzen und damit eine Fülle von Licht und Wärme zu erzeugen, als auch umgekehrt den elektrischen Strom in mechanische Arbeit umzuwandeln und damit jede Art von Arbeits-Maschinen in Betrieb zu setzen. Die elektrische Kraftübertragung aber hat den grossen Vorzug vor der gewöhnlichen Uebertragung der Kraft durch Riemen, durch comprimirte Luft oder durch Wasserdruck, dass innerhalb nicht gar zu weiter Grenzen die Entfernung des Ausgangspunctes der Kraft von dem Puncte der Wiedergewinnung eine sehr viel grössere sein darf, als bei den erstgenannten Uebertragungsmitteln, wozu noch kommt, dass in dem diese Puncte verbindenden und die Kraft elektrisch übertragenden Leitungsdrahte sich kein Druck und keine die Leitung gefährdende Spannung äussert. Die Leitung selbst erscheint äusserlich kraft- und leblos; sie lässt sich biegen und wenden, während die fortzuflanzende Kraft in der Form eines elektrischen Stromes hindurchgeht.

In allen Fällen, in denen es sich darum handelt, eine grössere Kraft in verticaler Richtung fortzupflanzen, wird für die Zukunft das Dynamo-Maschinen-System mit den anderen hierzu gebräuchlichen Mitteln in Concurrenz treten, namentlich dann, wenn diese Transmission durch das Innere von bewohnten oder von Arbeitsräumen geschehen muss; denn die Leitung kann gleich einem Telegraphendrahte allen Winkeln des Gebäudes folgen und gegen alle äusseren nachtheiligen Einwirkungen leicht geschützt werden. Dadurch wird es möglich, die Kraft von jedem gegebenen Orte aus nach anderen entlegenen Oertlichkeiten hin zu verpflanzen, welche für Riemen oder Leitröhren unzugänglich sind. Wir denken hier in erster Linie an die Fortpflanzung der Kraft im Bergbau, im Grubenbetrieb und bei Tunnelarbeiten.

ınd weiter an den Betrieb von kleinen Bahnen auf Arbeitslätzen verschiedener Art, in unterirdischen Räumen, in der 'iefe von Schächten und Tunnels, wobei die Betriebsmaschinen nd der Stromgeber über Tage stehen und die elektroıotorischen Arbeitszüge in der Tiefe laufen.

Es ist gewiss, dass zur höchsten Ausnutzung des von em Stromgeber erzeugten Arbeitsstromes der Elektromotor nders construirt werden muss als der elektrische Stromgeber elbst, und sowohl *Gramme* als *Siemens* sind damit beschäftigt, nter Verwerthung ihrer langjährigen Erfahrungen den laschinen diejenigen Constructionen zu geben, welche zur ebertragung der Arbeit am vortheilhaftesten sind; *Gramme* onstruirte bereits (§. 35) vier solcher Maschinen, welche ie von einer Turbine hergegebene Arbeit von 36 Pferderäften auf eine Entfernung von 5 km übertragen.

Damit soll nicht gesagt sein, dass für die Zukunft die ebertragung der Kraft vorzugsweise der Elektricität angeören soll; die Elektricität, sagt *Siemens*, ist ganz bescheiden, owohl bei der Beleuchtung als bei der Kraftübertragung; e will nicht verdrängen und absetzen, sondern sie will nur iejenigen Gebiete an sich nehmen, die von den anderen vorandenen bewährten Einrichtungen schlecht bedient werden. Vie das elektrische Licht nicht dazu berufen ist, überall n die Stelle des Petroleums und des Gaslichtes zu treten, o kann auch die elektrische Uebertragung der Kraft nicht nter allen Umständen als vortheilhaft bezeichnet werden. Vo aber die mechanische oder hydraulische Uebertragung icht gut verwendbar ist, da wird man von nun an sich agen, ob nicht die elektrische Uebertragung geeignet ist, ie verlangte Arbeit mit Vortheil zu leisten.

XVI. Abtheilung.

Die secundären Elemente.

132. Es kann nicht bestritten werden, dass die dynamo-elektrischen Maschinen die billigsten Erzeuger starker elektrischer Ströme sind; durch sie erhält man ökonomischere Resultate, als durch eine *Volta*'sche Batterie oder durch irgend andere der bis jetzt bekannten elektrischen Stromerzeugungsmittel erlangt werden können; und doch beweisen sich in manchen Fällen die gewöhnlichen Batterien als nützliche Hülfsmittel zu den dynamo-elektrischen Maschinen, besonders wenn dieselben gleichsam als ein Reservoir der Elektricität dienen.

Die Wichtigkeit der Aufgabe, einen elektrischen Accumulator, d. h. einen Apparat zu construiren, welcher die Aufspeicherung der Elektricität ermöglicht, so dass die in ihm angesammelte Elektricität jeder Zeit zur Erregung eines starken Stromes zur Verfügung steht, leuchtet sofort ein. Die *Leidener* Flasche genügt für diesen Zweck nicht, weil sie zwar hochgespannte Elektricität, jedoch nur in geringer Quantität, anzusammeln gestattet; selbst mächtige Condensatoren können verhältnissmässig nur wenig von der Elektricität aufnehmen, die der Strom einer constanten Quelle liefert. Indessen scheint die Aufspeicherung mittelst chemischer Arbeit durch den Strom der hier zum Ziele führende Weg zu sein. Schon *Gautherot* wusste im Jahre 1801, dass die Elektroden eines gewöhnlichen Voltameters

elches der Wirkung eines galvanischen Stromes ausgesetzt ird, die Eigenschaft annehmen, nach Entfernung der Drähte es Elementes einen Strom zu geben, welcher eine zu dem das Voltameter eingeleiteten Strome umgekehrte Richtng hat. Derselbe ist allerdings bei dem Voltameter nur on kurzer Dauer; sobald er in ein Galvanometer eintritt, immt er rasch ab und sinkt schnell auf Null.

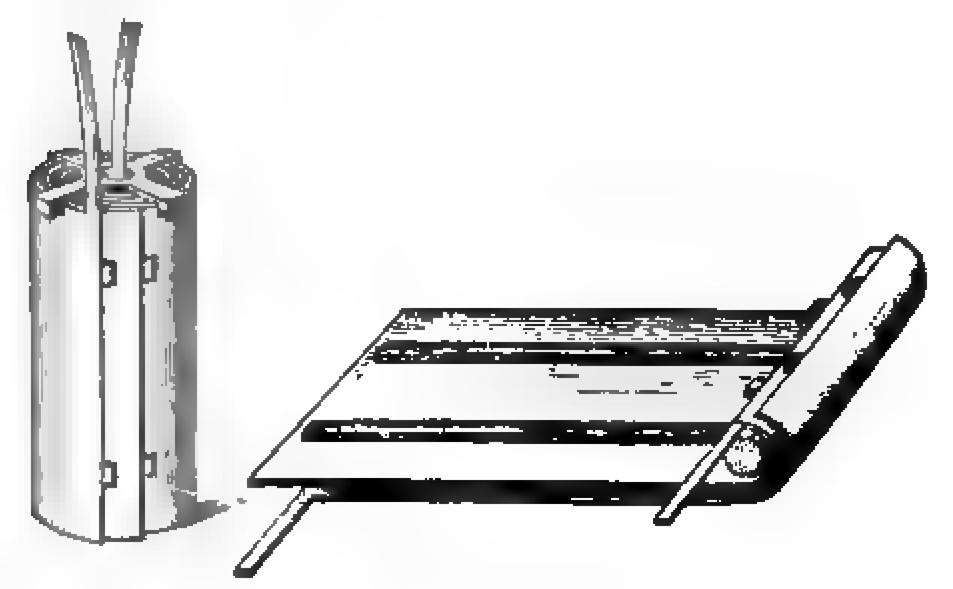
Den Vorgang, welcher den Elektroden die Fähigkeit erteilt, die Eigenschaften elektrischer Pole zu erlangen, nennt ian nun das Polarisiren der Elektroden, sowie den Strom, elchen die polarisirten Elektroden erzeugen, den „secunären Strom“, im Gegensatze zu dem erregenden Strome, Folge dessen auch die Stromquelle den Namen „secunires Element“ führt.

Solchen Elementen kann man auch eine andere Gestalt s die des Voltameters geben; schon *Ritter* in Jena zeigte Jahre 1803, dass Elektroden aus Kupfer, Eisen, Wisuth oder Gold in einer leitenden Flüssigkeit zur Herellung secundärer Elemente genügen; *Planté* jedoch wies erst nach (1859), dass Blei zur Herstellung von secun-.ren Elementen am meisten geeignet sei, und stellte seit eser Zeit zahlreiche Versuche über diesen Gegenstand an. ine ohne Unterlass fortgesetzten Versuche sind in den omptes rendus der Academie des Sciences veröffentlicht. ich hat er im Jahre 1879 seine Arbeiten in einem Werke reinigt, welches den Titel führt: Recherches sur l'Electricité.

133. Planté's Element. Zur Verfertigung eines solchen lementes werden zwei Bleiplatten aufeinander gelegt 'ig. 214); auf jeder derselben liegen, ihre Berührung zu rhindern, zwei Paar Kautschuk-Bänder von ungefähr 1 cm reite und 0,5 cm Dicke. Mit Hülfe eines Holzcylinders erden nunmehr die beiden Bleiplatten zu einer Spirale ifgewickelt; nach geschehener Aufwickelung wird der Holzrlinder entfernt. Um dem System eine grössere Festigkeit

zu geben, werden quer über die Spirale zwei in der W
weich gemachte Guttaperchastäbe gepresst, so dass dac
die Windungen der Spiralen an ihrem Orte fixirt we
Die Spirale wird in ein cylindrisches Gefäss eingesenkt
innerhalb desselben mit kleinen Guttaperchastäben
gestellt, worauf das Gefäss mit einem Deckel von I
gummi geschlossen wird. Letzterer trägt die beiden
und besitzt eine Oeffnung, durch welche man die Flü
keit — 10 % schwefelsäurehaltiges Wasser — einf
kann, die aber auch den Gasen, welche sich bei der La
entwickeln, das Entweichen gestatten.

Fig. 214.



Anfertigung des Planté'schen Elementes.

Zur Ladung eines solchen secundären Elementes rei
zwei *Bunsen*'sche Elemente aus. Sobald der Strom derse
die Schwefelsäure in Sauerstoff und Wasserstoff zers
wird die die positive Elektrode bildende Elektrode
Sauerstoff an ihrer Oberfläche angegriffen und dort in
sehr sauerstoffreiche Verbindung — Bleisuperoxyd P
— verwandelt, während die negative Blei-Elektrode
welcher sich der Wasserstoff abscheidet, zu metallis
Blei reducirt wird, wenn sie oxydirt war. Diese beko
demnach eine graue körnige Oberfläche, jene aber bed
sich mit einem braunen Ueberzug.

Die Ladung erreicht ihren Höhenpunct, sobald sich an der braunen Elektrode Sauerstoffbläschen zeigen. Alsdann ist es gerathen, das secundäre Element von dem Ladungs-Element zu entfernen, weil der polarisirende Strom nunmehr einen Verlust herbeiführen könnte. Bleibt das geladene Element sich selbst überlassen, so behält es die Ladung mehrere Tage hindurch, und selbst nach einer Woche ist es noch nicht entladen. Verbindet man aber die beiden Bleiplatten mit einander, so erhält man den secundären Strom. Das sauerstoffreiche Bleisuperoxyd sucht den Wasserstoff der Schwefelsäure an sich zu reissen, es desoxydirt sich und wirkt wie der negative Pol eines Elementes, während die reducirte Bleiplatte den Sauerstoff aufnimmt und den positiven Pol eines secundären Elements bildet.

Auch kann man[1]) statt der zwei *Bunsen*'schen Elemente drei *Daniell* oder selbst Elemente mit noch grösserem Widerstand zur Ladung anwenden, doch muss die elektromotorische Kraft der Batterie der von zwei *Bunsen* nahe kommen; allerdings dauert aber die Ladung um so länger, je grösser der Widerstand der primären Kette ist; wo aber die Zeit dazu da ist, dürften oft Elemente der zuletzt genannten Art bequemer sein als zwei *Bunsen*. Selbstredend kann man auch den von elektro-dynamischen Maschinen erzeugten Strom zur Ladung benutzen. Nur darf der primäre Strom nicht zu stark sein, sonst zerfällt das Bleisuperoxyd leicht in Bleioxyd und Sauerstoff. Als primäre Kette setzen wir hier zwei *Bunsen*'sche Elemente, denen *Planté* den Vorzug vor allen anderen Quellen zu geben scheint, voraus. Ist das secundäre Element neu, so erscheint bald nach der Anlegung der beiden *Bunsen* an der positiven Elektrode Sauerstoff, an der negativen Wasserstoff. Der secundäre Strom hat zwar gleich eine grosse Intensität, aber eine geringe Dauer, da die gebildete Schicht Bleisuperoxyd noch sehr dünn ist und sehr rasch, nachdem die secundäre Kette geschlossen ist, reducirt wird. Ladet man ein zweites Mal, so findet der Ladungsstrom die Platten bereits etwas verändert vor; die negative Platte hat sich durch die Wirkung des secundären Stromes oxydirt und nimmt nun den Wasserstoff auf, indem sie sich reducirt; die positive Elektrode ist jetzt bedeckt von einer Schicht reducirten Bleies und nimmt den Sauerstoff nun besser auf. Nunmehr wird der secundäre Strom von etwas grösserer Dauer sein und diese wird noch

[1]) Nach der E. Z. 1881, p. 56.

gesteigert durch eine häufigere Wiederholung der Ladung und Entladung. Dabei ist es von Vortheil, den Sinn der Ladung zu wechseln und so die erst positive Platte zur negativen zu machen, und umgekehrt. Auch soll es vortheilhaft sein, die Entladung des secundären Elementes nicht sofort vorzunehmen, sondern es einige Zeit geladen stehen zu lassen; nach der Ansicht von *Planté* nimmt das Metall dadurch einen krystallinischen Charakter an, welcher es für die Aufnahme der Ladung geeignet macht. Demgemäss giebt *Planté* folgende Vorschrift für die Vorbereitung eines secundären Elementes: Man lässt am ersten Tage 6 bis 8 Mal den Strom von zwei *Bunsen*'schen Elementen durch das secundäre Element in abwechselndem Sinne gehen. Zugleich lasse man die Zeitdauer der Ladung wachsen von 1/4 Stunde bis zu 1 Stunde. Nach jeder Ladung entlade man das Element; man wird dabei, etwa mit Hülfe eines glühenden Platindrahtes, erkennen, dass die Dauer der Entladung zunimmt.

Schliesslich lasse man das Element in einem bestimmten Sinne bis zum nächsten Tage geladen stehen. Am folgenden Tage lade man das Element zwei Stunden in einem der letzten Ladung entgegengesetzten Sinne, dann lade man es wieder im ersten Sinne und so fort. Alsdann lasse man das secundäre Element acht Tage lang ruhig stehen, lade es dann wieder einige Stunden lang, ohne es aber wieder an demselben Tage zu entladen. Man steigere die Ruhezeit allmählich auf 14 Tage, 1 Monat, 2 Monate u. s. w. Die Dauer der Entladung soll dadurch sich fortgesetst steigern. Die Grenze für die Dauer des secundären Stromes soll nur in der Dicke der Platten gefunden werden. Indessen soll die Vorbereitung nicht weiter ausgedehnt werden als für den Zweck, zu dem das Element dienen soll, nöthig scheint, weil durch die Oxydation der positiven Platte der Widerstand wächst und so die Zeitdauer für die Ladung zunimmt. Ist einmal das secundäre Element vorbereitet, so ist es nicht mehr angezeigt, den Sinn der Ladung beim Gebrauch jedesmal zu wechseln, weil sonst bei der Ladung unnütz Zeit damit verbraucht würde, das noch vorhandene Bleisuperoxyd zu reduciren. Man behalte also schliesslich die eine Platte als positiven, die andere als negativen Pol bei.

Um das Element gut zu erhalten, soll man es nach der gehörigen Vorbereitung nicht Monate lang ungebraucht stehen lassen, weil das Superoxyd die Neigung hat, in Oxyd überzugehen, welches sehr viel schlechter leitet. Man lade das Element also von Zeit zu Zeit wieder, oder man halte es durch eine schwächere Kette beständig geladen. Bei einem gehörig vorbereiteten Elemente bemerkt man in der ersten Zeit der Ladung keine Gasentwickelung; beginnt die Gasentwickelung, so ist das ein Zeichen dafür, dass die Ladung beendet ist. Bei einem secundären Elemente von 1 qm Oberfläche können 20 bis 30 Minuten vergehen, bis die Gasentwickelung eintritt.

Im ersten Moment der Entladung ist der secundäre Strom sehr stark, aber diese Heftigkeit ist nicht von langer Dauer, sie rührt von der Polarisation durch die entwickelten Gase her. Alsdann folgt der von der Veränderung der Bleiplatten herrührende Strom, welcher nun recht constant andauert und ziemlich plötzlich, nachdem die Kraft verbraucht ist, nachlässt. Der erstere stärkere Strom tritt nicht auf, wenn man das Element einige Zeit nach der Ladung, ohne es zu entladen, stehen lässt. Die Gaspolarisation verschwindet dann von selbst. Dagegen verschwindet die von den Platten herrührende Wirkung nicht sobald, sie hält sich 2 bis 3 Wochen, auch 4 Wochen bei besonders gut vorbereiteten Elementen. Der allmähliche Niedergang der Ladung rührt aber in diesem Falle von localen Strömen an der positiven Platte zwischen Blei und Bleisuperoxyd her, wodurch sich das Superoxyd reducirt.

Auch die interessante Erscheinung des Residuums beobachtet man, dass also bei einer Entladung der secundäre Strom nachlässt, nach einiger Zeit jedoch wieder auftritt, wenn man das geöffnete Element eine Weile ruhig sich selbst überlässt und dann den secundären Stromkreis wieder schliesst.

Nachdem es scheinbar vollkommen entladen ist und einige Minuten bei offenem Stromkreise geruhet, hat es also einen Theil seiner Kraft wieder gewonnen. Das neuerdings entladene Element gewinnt, nachdem es auch seinen Rückstand verloren hat, und sich selbst überlassen ist, abermals Kraft, die jedoch geringer ist als bei dem ersten Male. Auf diese Weise kann man noch mehrmals verfahren, immer wird man einen Rückstand beobachten können.

Planté hat diese Eigenthümlichkeit auf folgende Weise sehr gut erklärt: „Das secundäre Element entladet sich, sobald es in Wirkung tritt, und polarisirt sich zu gleicher Zeit, wie dies alle Elemente mit nur einer Flüssigkeit thun. Diese Polarisation erreicht nach einer gewissen Zeit eine Stärke, welche der des geschwächten secundären Elementes fast gleichkommt, in Folge dessen alle Wirkung aufhört oder wenigstens sehr gering wird; ist nun das Element sich selbst überlassen, so findet, wie bei allen Elementen, eine Depolarisation Statt, wodurch es wieder geeignet wird, in Thätigkeit zu treten, um sich wieder zu polarisiren und so fort.“

Die Dauer der Entladung hängt von der Grösse des eingeschalteten Widerstandes ab; einen starken Platindraht von 1 mm Durchmesser kann man je nach der Vorbereitung des Elementes 1 bis 10 Minuten lang zum Glühen bringen, dagegen einen Draht von 1/10 mm Durchmesser bis auf 1 Stunde lang.

Die elektromotorische Kraft des Elementes beträgt im ersten Moment, so lange Gaspolarisation noch vorhanden ist, 1,4 bis 1,5 *Bunsen*, nachher 1,17 *Bunsen*.

Der Widerstand eines secundären Elementes ist je nach seiner Grösse gleich dem Widerstande eines 3 bis 5 m langen, 1 mm starken Kupferdrahtes. Merkwürdigerweise soll die Grösse und der Abstand der Platten nicht einfach nach dem *Ohm*'schen Gesetz dabei massgebend sein, vielmehr soll die Verminderung des Abstandes in einem höheren Grade auf die Verkleinerung des Widerstandes einwirken, als die Vergrösserung der Plattenpaare, deren Grösse nur wenig dabei von Einfluss sein soll. Eine Erklärung dafür gibt *Planté* nicht.

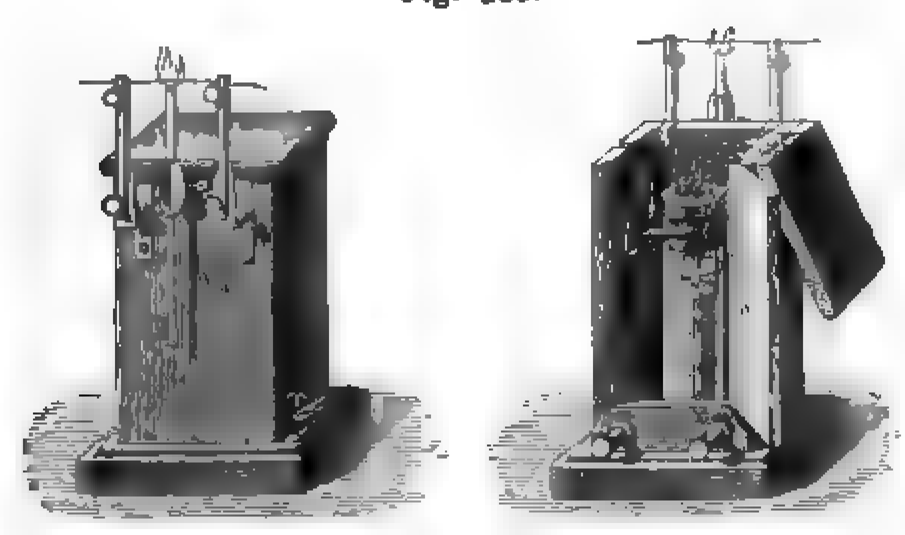
Ist das Element vollständig entladen, so sind die Bleiplatten in demselben Zustande, in dem sie vorher waren, fähig, von neuem geladen zu werden. Diese Ladung vollzieht sich um so rascher, in je kürzerer Frist sie auf die Entladung erfolgt.

Die spiralförmige Gestalt der Elektroden geben denselben eine grosse Oberfläche und kleinen Widerstand, so dass *Planté's* Element einem gewöhnlichen Elemente entspricht, dessen Grösse ganz ungewöhnlich gross ist. Die Oberfläche beträgt bei dem kleinen Modell 8 qdm, bei dem grossen 40 qdm. Der Blei-Oberfläche entspricht aber die Quantität der Elektricität, welche, in dem Apparat durch den Ladungsstrom erzeugt, 90 % des letzteren reproduciren kann.

Die kleineren Apparate lassen sich ein- für allemal in

ein reinliches Kästchen verpacken und bilden dann eine Elektricitätsquelle, die leicht transportabel und vor den gewöhnlichen Batterien durch Reinlichkeit und Bequemlichkeit der Handhabung ausgezeichnet ist. Wer etwa einen Haustelegraphen besitzt, kann die *Planté*'sche Zelle mit Hülfe der zugehörigen Batterie laden; wer dergleichen nicht hat, kann zu irgend einem Elektriker hingehen und die Ladung besorgen lassen. Kleine Apparate der Art werden seit Jahren von Paris aus in den Handel gebracht, theils zu medicinischen Zwecken, theils als Zündmaschinen. Für den letzteren Zweck befinden sich an dem Kästchen (*Briquet de Saturne*; Fig. 215) zwei kleine Klemmen, zwischen welchen

Fig. 215.



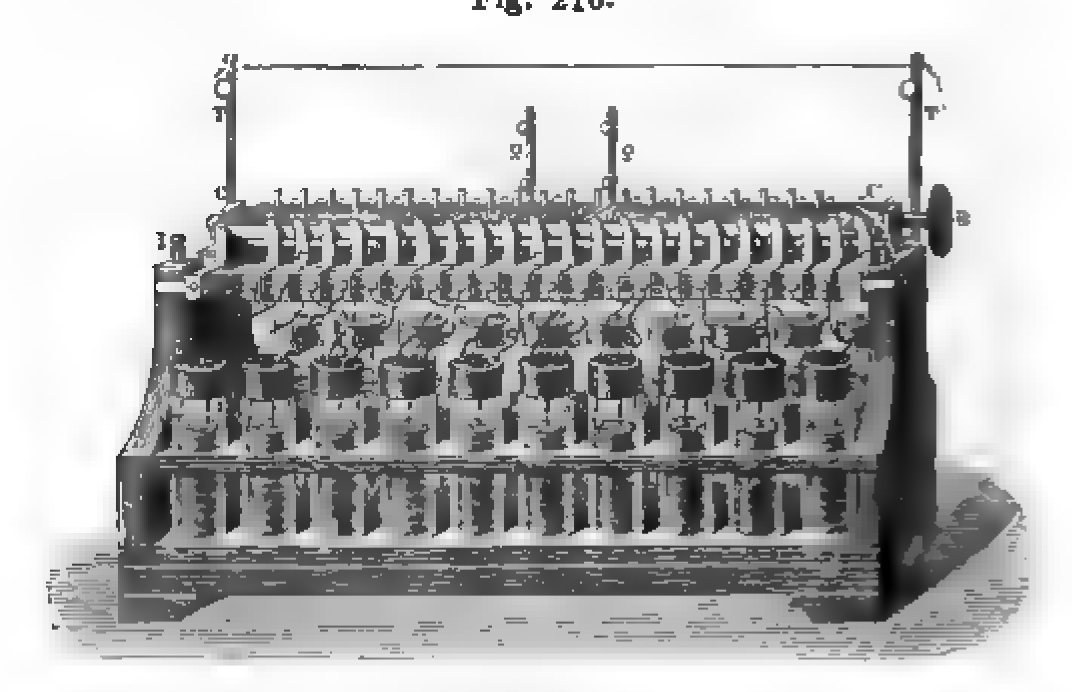
Briquet de Saturne.

ein Platindraht ausgespannt ist; so oft man durch einen Druck auf eine Feder *T* am Bodenbrett des Kastens einen Contact herbeiführt, schickt das im Kästchen befindliche Element einen Strom durch den Draht, macht diesen erglühen und entzündet dadurch eine kleine Kerze. Dies kann etwa 100 Mal geschehen, ehe eine Neuladung des Elementes erforderlich ist.

Es können aber auch die secundären Elemente auf Spannung oder Quantität mit einander verbunden werden, was bei der von *Planté* angeordneten secundären Batterie sowie

mittelst eines sinnreich erdachten Commutators mit Leichtigkeit geschehen kann. Bei dieser Batterie sind nämlich (Fig. 216) 20 Elemente in zwei Reihen angeordnet und alle äusseren Elektroden mit Contacten auf der einen, alle inneren

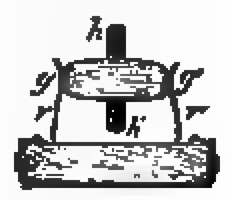
Fig. 216.



Planté'sche Batterie.

Elektroden mit solchen auf der anderen in Verbindung gebracht, derart, dass bei der in Fig. 217 gezeichneten Stellung des Commutators die 20 Elemente auf Quantität, in einer zu der vorigen aber unter dem rechten Winkel stehenden auf

Fig. 217.

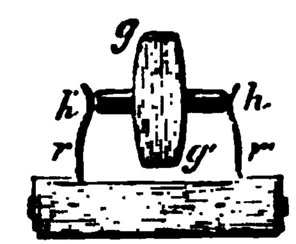


Stellung des Commutators bei Verbindung der Elemente auf Quantität.

Spannung mit einander verbunden sind. (Vgl. Fig. 218 und 219.) Im ersten Falle bildet demnach der ganze Apparat ein einziges grosses Element, im zweiten aber eine wirkliche Batterie von 20 Elementen. Zur Ladung hat man sich der ersten (Klemmen $Q\ Q'$), zur Entladung der zweiten Stellung (Klemmen $T\ T'$) zu bedienen. Die Batterie vertritt

dann bei Beginn ihrer Thätigkeit 30 *Bunsen*'sche Elemente von grosser Oberfläche, welche einen langen dünnen, in die Klemmen T und T' eingespannten Platindraht zum Erglühen bringt.

Fig. 218.

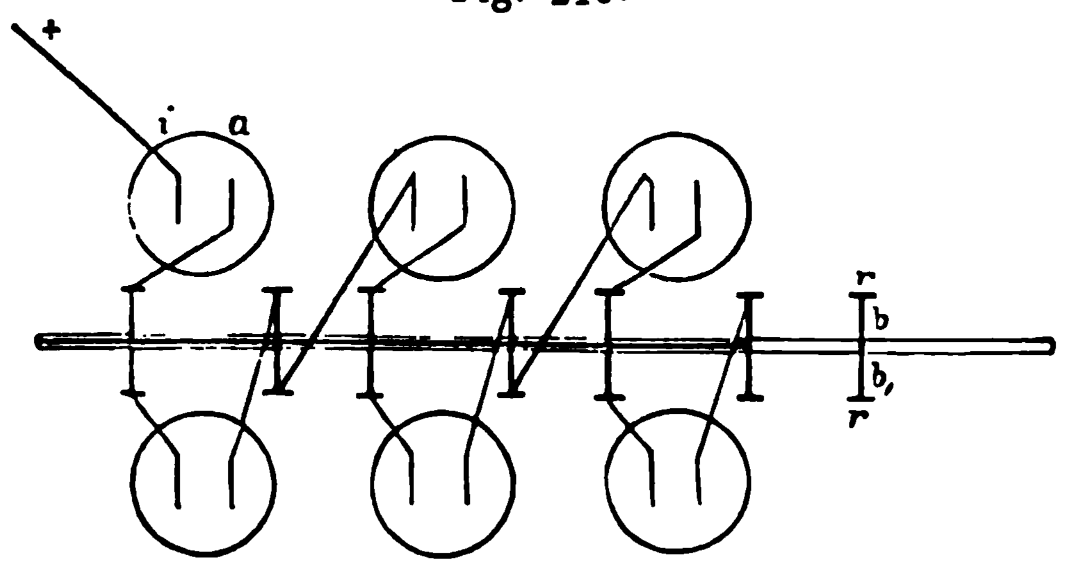


Stellung des Commutators bei Verbindung der Elemente auf Spannung.

Nach *Hauck* hat *Planté* in seinem Laboratorium 800 seiner Elemente, welche ungefähr 1200 *Bunsen*-Elemente entsprechen, vereinigt, und verfügt somit über eine der stärksten Elektricitätsquellen, welche einem Physiker je zu Gebote standen.

Die secundären Elemente *Planté's* besitzen die Eigenthümlichkeit, dass erst eine häufig wiederholte Ladung und

Fig. 219.



Verbindung der Planté'schen Elemente auf Spannung.

Entladung ihre höchste Capacität eintreten lässt;[1]) diese langsame Bildung der Elemente und die dadurch bedingten Kosten sucht *Faure* durch folgendes Verfahren[2]) zu umgehen.

134. Faure's Element. Einen jeden der beiden Bleistreifen von 200mm Breite, 600 bezw. 400mm Länge und 1 bezw.

[1]) Vgl. *Hauck*, die galvanischen Elemente von *Volta* bis heute, p. 233.
[2]) Z. f. a. E., 1881, p. 227.

0,5 mm Dicke bedeckt er mit Mennige ($Pb_2 O_4$), welche mit Wasser zu einem Brei angerührt wird; die grosse Platte erhält 800 g, die kleine 700 g Mennige. Letztere wird zunächst durch aufgelegtes Pergamentpapier, sodann durch einen Filzüberzug an ihrem Orte festgehalten. Die so gebildeten Elektroden werden in der §. 133 beschriebenen Weise aufgerollt. Das Ganze wird sodann in ein bleiernes Gefäss eingesenkt, welches inwendig mit Mennige und Filz ausgekleidet ist und auch an der Wirkung participirt, da die Bleifahne (vgl. Fig. 214) der kleineren Platte an dasselbe angelöthet wird. Das fertige Element wiegt ohne Flüssigkeit 8500 g.

Wenn das Element zwei- oder dreimal geladen und entladen worden ist, hat es seinen Beharrungszustand erlangt. Nach der Ladung ist die Beschickung der einen Elektrode ganz und gar in Bleisuperoxyd übergegangen; die der anderen Elektrode ist reducirtes Blei. Nach der Entladung hat sich das Superoxyd wieder stark desoxydirt, während sich das reducirte Blei oxydirt hat.

Man begreift, sagt *Niaudet*, dass die Capacität des Elementes von der Quantität der Mennige abhängt, womit die Elektroden beschickt sind; man begreift daher auch die Ueberlegenheit des *Faure*'schen Elementes über dasjenige von *Planté*; *Faure* gibt an, dass man bei seiner Disposition die vierfache Elektricitätsmenge derjenigen aufspeichern kann, welche von einem *Planté*'schen Elemente gleicher Oberfläche aufgenommen wird. Auch gibt derselbe an, dass er in einem 75 kg schweren Apparate so viel Elektricität aufspeichern kann, wie der Arbeit einer Pferdekraft während einer Stunde entspricht. Vergleicht man hiermit die Angaben anderer Forscher, so scheint die von *Faure* behauptete gewaltige Superiorität seines Elementes über das *Planté*'sche sehr fraglich zu sein. Kann z. B. nach *Geraldy & Hospitalier* ein *Planté*'sches Element per Kilogramm Bleigewicht 3450 kgm

aufspeichern, so beträgt nach *Reynier* die Aufspeicherungsfähigkeit eines *Faure*'schen Elementes 3750 kgm. Wenn hiernach der Unterschied zwischen den beiden Elementen nicht so bedeutend ist als vordem geschildert wurde, so muss doch zu Gunsten des *Faure*'schen Elementes bemerkt werden, dass dasselbe ziemlich neuen Datums ist und daher eine noch weitere Vervollkommnung erfahren wird, während das *Planté*'sche Element bereits eine 20 jährige Entwicklung hinter sich hat.

135. Wie nun aber die secundären Elemente die dynamoelektrischen Maschinen zu ergänzen berufen sind, insofern dieselben auf dem Gebiete der Incandescenz-Beleuchtung oder auch in den Fällen, wo eine kleinere dynamo-elektrische Maschine als Motor dienen soll, mit Erfolg angewandt werden können, ist in Kürze zu erörtern.[1])

Zunächst hat sich in Paris gezeigt, dass die secundären Elemente ganz geeignet sind zur Erzeugung des Glühlichtes. Die Verbreitung desselben hängt also wesentlich von der Ausbildung der secundären Elemente ab, weil durch dieselben die Unkosten der elektrischen Kraft wesentlich verringert werden dürften, und diese sehr leicht zu beschaffen, ja nach Maass zu erwerben ist. Arbeiten bis jetzt die elektrischen Maschinen und zugehörigen Motoren nur während der Zeit, wo die Elektricität gebraucht wird, also nur wenige Stunden pro Tag, so könnte unter den neuen Umständen, wie sie durch die Erfindung von *Planté* und *Faure* geschaffen sind, die Ladung der Reservoire durch magnet- oder dynamoelektrische Maschinen den ganzen Tag über fortgesetzt und somit das Anlage-Capital der Elektricitäts-Anstalten in weit geringerer Zeit amortisirt werden, während gleichzeitig die Kosten des Brennmaterials erheblich reducirt würden. Mög-

[1]) Vgl. Z. f. a. E., 1881, p. 271. Der Wirkungsgrad der Secundär-Batterie nach *Emil Reynier*. — ib. p. 432.

lich ist es immerhin, dass man später in besonderen Verkaufslocalen elektrische Reservoire finden und dort den zu irgend einer Leistung nothwendigen elektrischen Kraftvorrath kaufen wird.

Trouvé[1]) und *Tissandier* stellten mit Erfolg Versuche an, durch den von secundären Elementen gelieferten Strom kleine Elektromotoren und durch diese wiederum ein Boot, ein Velociped, ja einen Luftballon zu treiben. Die Compagnie générale des Omnibus de Paris versuchte sogar einen Tram eigener Construction mittelst einer Batterie *Faure*'scher Elemente bewegen zu lassen; das Experiment soll geglückt sein und zu weiteren Versuchen auf diesem Gebiete ermuntert haben, wonach es möglich ist, dass durch Elemente bewegte elektrische Trams dereinst die Pferdebahnen ersetzen dürften.

---

[1]) Vgl. L'Ingénieur, le moteur *Trouvé*, 1881.

XVII. Abtheilung.

Mathematische Entwicklungen.

In früheren Abtheilungen wurden vielfach Principien und Behauptungen ohne weitere Begründung aufgestellt, sobald eine solche nur mit Hülfe mathematischer Entwicklungen zu ermöglichen war. Da diese indessen den mathematisch geschulten Leser nicht wenig interessiren dürften, so sollen im Folgenden die wichtigsten Ergebnisse *M. Mascart's*[1]), *Preece's*[2]), *Niaudet's*[3]) und *W. Thomson's*[4]) in Kürze angeführt werden; die Kürze der Darstellung finde ihre Rechtfertigung darin, dass der Leser der folgenden Capitel schon an tiefere Geistesarbeit gewöhnt ist, sodann aber auch in Raumersparniss.

136. Die von einem Strome J in einem Leiter vom Widerstande W in der Zeiteinheit entwickelte Wärmemenge C ist nach *Joule* proportional mit $J^2 W$ oder EJ, wo E die elektromotorische Kraft bedeutet, welche den Strom J in dem Leiter vom Widerstand W erzeugt. Bei Einführung der absoluten Maasse und wenn als Einheit der Wärmemenge

---

[1]) Journal de Physique théorique et appliquée, publiée par *J. Ch. D'Almeida.* Paris 1877, t. VI, p. 203, 297.

[2]) Philosophical Magazine. Jan. 1879.

[3]) Machines Electriques à Courants Continus ... par *A. Niaudet.* Paris 1881, p. 67.

[4]) Z. f. a. E. 1881, p. 411.

diejenige genommen wird, welche der Arbeitseinheit äquivalent ist, nimmt das *Joule*'sche Gesetz nach *Helmholtz* folgende Gestalt an:[1])

$$C = EJ = J^2W = \frac{E^2}{W}.$$

Bezeichnet daher ϱ den inneren Widerstand einer Stromquelle, E die elektromotorische Kraft derselben und R den Widerstand der äusseren Leitung, so ist die in dem ganzen Stromkreise in der Zeiteinheit gebildete Wärmemenge, d. h. die gesammte geleistete elektrische Arbeit

$$C = \frac{E^2}{\varrho + R}.$$

Wird die in der äusseren Leitung erzeugte Wärme als Nutzarbeit (N) betrachtet, so bildet die letztere nur einen Theil der gesammten Arbeit; diese verhält sich nach *Joule* zu jener wie $\varrho + R : R$. Also ergibt sich

$$N = \frac{E^2}{\varrho + R} \cdot \frac{R}{\varrho + R} = E^2 \frac{R}{(\varrho + R)^2}.$$

Besitzt daher die Stromquelle eine constante elektromotorische Kraft, so wird N für denjenigen Werth des R das Maximum erreichen, für welchen $\frac{R}{(\varrho + R)^2}$ ein Maximum ist. Dieses entspricht aber, wenn wir

$$\frac{R}{(\varrho + R)^2} = \frac{1}{2m}$$

setzen, dem Minimum des m. Es ist nun

$$R^2 + 2R(\varrho - m) + \varrho^2 = 0$$

$$R = m - \varrho \pm \sqrt{m(m - 2\varrho)};$$

hiernach wird R für jedes $m < 2\varrho$ imaginär; ist daher 2ϱ das zulässige Minimum für m, so muss bezüglich des Maximums des R

$$\frac{R}{(\varrho + R)^2} = \frac{1}{4\varrho}$$

bezw.

$$\varrho = R$$

[1]) Vgl. *Kohlrausch,* Leitfaden der praktischen Physik.

sein; d. h.: Unter der Annahme, dass die gesammte von der Batterie geleistete Arbeit in Wärme besteht, ist die von dem Strome geleistete Nutzarbeit in dem Falle ein Maximum, wo der Widerstand der äusseren Leitung dem der Batterie gleich ist.

137. Es kann aber auch die äussere Leitung als unveränderlich und die Stromquelle als in ihrer Wirkung veränderlich betrachtet werden; soll dieselbe z. B. aus n Elementen bestehen, von denen ein jedes die elektromotorische Kraft E und den Widerstand r hat, so fragt sich, wie viele Elemente zunächst (p) unter sich auf Quantität zu verbinden sind, damit, wenn die $\frac{n}{p}$ Gruppen auf Spannung verbunden werden, ein Maximum der Nutzarbeit erfolgt. Da nun

$$C = \frac{E^2}{\varrho + R} = \frac{[J(\varrho + R)]^2}{\varrho + R} = J^2(\varrho + R),$$

so ist
$$N = J^2(\varrho + R) \cdot \frac{R}{\varrho + R} = J^2 R.$$

Das Maximum der Nutzarbeit entspricht also demjenigen der Intensität. Bei der Bestimmung der letzteren ist zu beachten, dass der Strom einer jeden der vorhin erwähnten Gruppen eine elektromotorische Kraft $= E$ und einen inneren Widerstand $= \frac{r}{p}$, der Strom der auf Spannung verbundenen Gruppen also eine elektromotorische Kraft $= \frac{n}{p} \cdot E$ und einen inneren Widerstand $= \frac{n}{p} \cdot \frac{n}{p} = \frac{nr}{p^2}$ hat. Die Intensität des Stromes ist daher

$$\frac{\frac{n}{p} \cdot E}{\frac{nr}{p^2} + R} = \frac{npE}{nr + p^2 R}.$$

Setzt man diese Grösse $= y$, so ergibt sich

$$yR \cdot p^2 - nE \cdot p + nry = 0$$

$$p = \frac{1}{2yR}\left[nE \pm \sqrt{n^2E^2 - 4nrRy^2}\right].$$

Die Natur des behandelten Problems schliesst imaginäre Werthe aus; das Maximum des y ergibt sich daher aus der Gleichung

$$n^2E^2 - 4nrRy^2 = 0,$$

wonach

$$y = \frac{E}{2}\sqrt{\frac{n}{rR}}$$

und

$$p = \sqrt{\frac{rn}{R}} \text{ bezw. } R = \frac{nr}{p^2}$$

wird. Die Intensität des Stromes **ist also die grösste, wenn man die Elemente so anordnet, dass dem Widerstande der äusseren Leitung der innere Widerstand der Stromquelle gleich wird.**

138. Können die Bedingungen, unter welchen das Maximum der Nutzarbeit erfolgt, nicht befriedigt werden, so muss man dieselben wenigstens zu erreichen suchen. Wie dies geschehen kann, wird die folgende Betrachtung zeigen.

Der Ausdruck

$$C = \frac{E^2}{\varrho + R}$$

erhält den grössten Werth bei $R = 0$, nimmt mit wachsendem R stetig ab und wird bei $R = \infty$ zu Null.

Andererseits ist der Ausdruck für den sogenannten Nutzeffect des Systems (vgl. §. 136)

$$G = \frac{N}{C} = \frac{R}{\varrho + R} = \frac{1}{\frac{\varrho}{R} + 1};$$

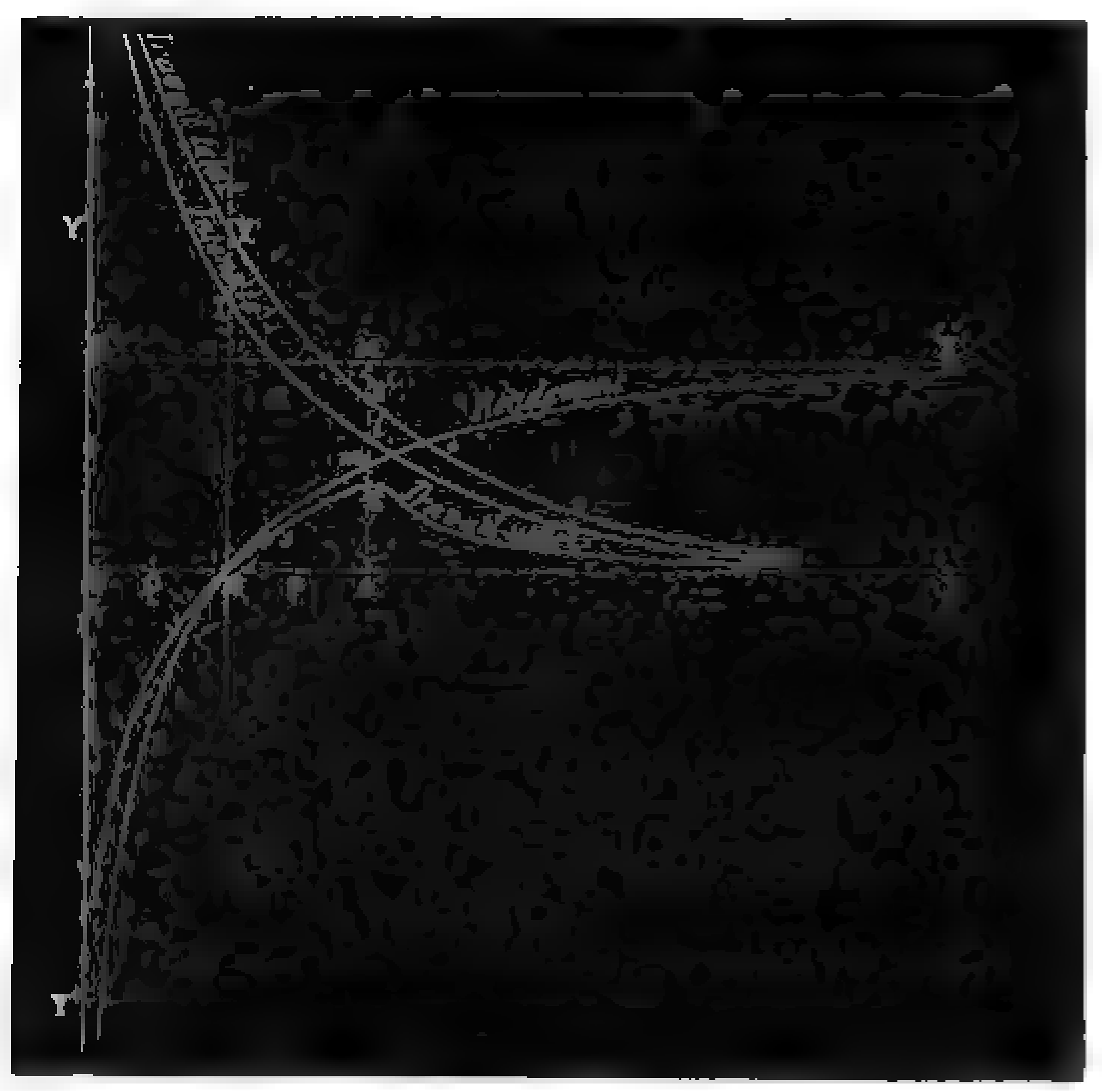
derselbe ist bei $R = 0$ auch gleich Null, wächst mit dem Werthe des R und erreicht den grössten Werth $= 1$ bei $R = \infty$.

Hat also der Widerstand der äusseren Leitung einen

kleineren Werth als derjenige ist, bei welchem das Maximum der Nutzarbeit erfolgt, so befindet man sich unter sehr ungünstigen Umständen: der Nutzeffect nimmt ab, die gesammelte Wärme C hingegen und mithin die verbrauchte Arbeit zu.

Ist jedoch der Widerstand R der äusseren Leitung grösser, als der dem Maximum der Nutzarbeit entsprechende Werth,

Fig. 220.



so sind die Bedingungen bei weitem günstiger: der Nutzeffect nimmt zu, die verbrauchte Arbeit hingegen ab.

Diese Behauptungen ergeben sich besonders deutlich durch einen Vergleich der in Fig. 220 abgebildeten Curven, welche den einzelnen in den §§. 136 und 137 abgeleiteten Gleichungen entsprechen.

$$C = \frac{E^2}{\varrho + R};$$

dieses ist die Gleichung einer gleichseitigen Hyperbel, deren Asymptoten die x-Axe, sowie eine zur y-Axe im Abstande $OO' = \varrho$ gezogene Parallele sind.

$$N = E^2 \cdot \frac{R}{(\varrho + R)^2};$$

dieses ist die Gleichung einer Curve dritten Grades, welche durch den Anfangspunct geht und asymptotisch zur x-Axe und zur Linie $Y'O'Y''$ verläuft.

$$J = \frac{E}{\varrho + R};$$

dieses ist die Gleichung einer gleichseitigen Hyperbel, deren Axen mit denjenigen der vorhin erwähnten zusammenfallen.

$$G = \frac{R}{\varrho + R}.$$

Dieses ist die Gleichung einer gleichseitigen Hyperbel, welche durch den Anfangspunct geht und deren Asymptoten eine zur x-Axe im Abstande $O'O'' = 1$ gezogene Parallele und die Linie $O'Y''$ sind.

Ist $R = \varrho$, so ist

$$AS = \tfrac{1}{2} AS'$$
$$Ai = \tfrac{1}{2} AJ$$
$$Am = \tfrac{1}{2}$$

d. h. im Falle des Maximums ist die Nutzarbeit die Hälfte der Gesammtarbeit, die Intensität um die Hälfte geringer als wenn $R = 0$ ist, und der Nutzeffect $= \tfrac{1}{2}$.

Je mehr R wächst, um so mehr nähert sich der Werth der Gesammtarbeit, der Nutzarbeit und der Intensität der Null und der Werth des Nutzeffectes seinem Maximum, der 1.

Die der Arbeit günstige Seite liegt rechts von dem Maximum der Nutzarbeit; hier nimmt der Nutzeffect zu, Intensität sowie Gesammtarbeit hingegen ab. Die andere Seite ist die ungünstige, da auf dieser der Nutzeffect kleiner wird, die Intensität und Gesammtarbeit hingegen wachsen.

Es ergibt sich also die praktische Regel, dass

der äussere Widerstand wohl grösser, keineswegs aber kleiner als der innere Widerstand der Stromquelle sein soll.

139. Im Gewöhnlichen setzt sich die äussere Leitung aus einem Leiter im engeren Sinne und einem eingeschalteten Apparate zusammen; unter Nutzarbeit versteht man alsdann diejenige, welche in dem Apparate geleistet wird. Besteht auch diese lediglich in erzeugter Wärme, so tritt sie im Maximum auf, sobald der Widerstand des Apparates der Summe der Widerstände der Stromquelle (ϱ) und des Leiters (r) gleich ist. Dieses trifft zu bei der Incandescenz-Beleuchtung.

Die Lampen (etwa n) können nun entweder hintereinander oder parallel in den Stromkreis geschaltet werden; leistet daher jede Lampe den Widerstand l, so ist der von den n Lampen gebotene Widerstand je nach der Schaltung nl bezw. $\frac{l}{n}$.

Sind also die Lampen hintereinander geschaltet, so ist (§. 136)

$$N = \frac{E^2 nl}{(\varrho + r + nl)^2}$$

oder aber, wenn $\varrho + r$ im Vergleich zu nl sehr klein ist und vernachlässigt wird,

$$N = \frac{E^2 nl}{(nl)^2} = \frac{E^2}{nl}.$$

Sind die Lampen parallel geschaltet, so ist

$$N = \frac{E^2 \cdot \frac{l}{n}}{\left(\varrho + r + \frac{l}{n}\right)^2},$$

oder aber, wenn $\frac{l}{n}$ gegen $\varrho + r$ verschwindend klein ist,

$$N = \frac{E^2 l}{n(\varrho + r)^2}.$$

In beiden Fällen steht also die gesammte in den Lampen erzeugte Wärme im umgekehrten Verhältnisse zur Anzahl der Lampen, wofern diese eine grosse ist, oder aber, da die Wärme auf *n* Lampen vertheilt ist, so steht die in jeder der *n* Lampen gebildete Wärme im umgekehrten Verhältnisse zum Quadrate ihrer Anzahl, mögen die Lampen hintereinander oder parallel geschaltet sein.

Es ist daher ein Irrthum, wenn man glaubt, in der Incandescenz ein Mittel zu besitzen, das elektrische Licht ins Unendliche theilen zu können. Auch sei bemerkt, dass das Licht durchaus nicht proportional ist zu der in der Lampe entwickelten Wärme; denn erstens weiss man, dass unterhalb einer gewissen Temperatur ein warmer Körper nicht leuchtet; zweitens geht aus den Arbeiten *Becquerel's* hervor, dass die leuchtende Intensität ausserordentlich schnell mit der Temperatur wächst, wenn letztere einen hinlänglich hohen Grad erreicht.

140. Die vorstehenden Betrachtungen greifen auch Platz, wenn als Stromquelle eine magnet-elektrische Maschine genommen wird, da es ein Leichtes ist, die elektromotorische Kraft derselben constant zu erhalten. Die behandelten Probleme lauten alsdann:

1) Die Maschine ist gegeben, die äussere Leitung soll zweckentsprechend gewählt werden.
2) Die äussere Leitung ist gegeben, die Maschine soll danach so aptirt werden, dass sie zur bestimmten Verwendung möglichst geeignet ist.

Wir unterlassen, auf den zweiten Punct näher einzugehen, da derselbe nur den Constructeur interessirt, verweisen jedoch auf die bezüglichen Capitel des trefflichen Werkes von *Niaudet*, p. 80.

141. Lassen wir nunmehr die bisher befolgte Annahme, dass in der äusseren Leitung lediglich Wärme erzeugt wird,

fallen und nehmen wir an, dass in derselben eine elektrodynamische, elektrochemische oder eine elektromagnetische Arbeit geleistet wird. Es werde z. B. in den Stromkreis einer constanten Stromquelle eine elektrische Maschine eingeschaltet, welche als Elektromotor dienen soll. Wird dieser unbeweglich gehalten, so zeigt ein zwischen der Stromquelle und dem Elektromotor geschaltetes Galvanometer die Intensität J, welche das Galvanometer auch dann zeigen würde, wenn der Elektromotor nicht in den Stromkreis geschaltet wäre. Lässt man aber den Elektromotor arbeiten, so zeigt das Galvanometer eine Intensität i, welche kleiner als J ist. Ist daher der Gesammtwiderstand der Leitung W, so ist

$$i W < J W$$

oder aber, da $J W$ die elektromotorische Kraft E der Stromquelle darstellt,

$$i W < E,$$

wonach wir schreiben können

$$i W = E - e \ (e < E);$$

so gelangen wir zu dem Begriffe einer von dem Elektromotor entwickelten elektromotorischen Kraft, welche derjenigen der Stromquelle entgegen wirkt.

Das mechanische Aequivalent der von der Stromquelle geleisteten elektrischen Arbeit ist aber bei einer Stromstärke i gleich Ei. Von dieser Totalarbeit T geht ein Theil verloren auf die Erwärmung des Leiters, der andere wird im Elektromotor nutzbar gemacht. Sind ihre respectirten Werthe $i^2 W$ und N, so muss

$$E i = i^2 W + N$$

$$i W = E - \frac{N}{i}$$

sein. Ein Vergleich mit dem Obigen gibt also

$$e = \frac{N}{i}$$

d. h. die elektromotorische Gegenkraft ist gleich dem

Quotienten der Nutzarbeit, dividirt durch die in absolutem Maasse bestimmte Stromstärke.

Der Nutzeffect des Systems ist

$$G = \frac{N}{T} = \frac{N}{Ei} = \frac{\frac{N}{i}}{E} = \frac{e}{E}$$

d. h. der Nutzeffect ist gleich dem Verhältnisse der elektromotorischen Gegenkraft des Elektromotors zu der elektromotorischen Kraft der Stromquelle.

Da nun nach dem Vorstehenden

$$i = \frac{E - e}{W},$$

so folgt

$$T = Ei = \frac{E - e}{W} \cdot E$$

$$N = ei = \frac{E - e}{W} \cdot e.$$

Die Summe der Grössen $E - e$ und e hat den constanten Werth E; mithin erreicht N sein Maximum, wenn $e = \frac{E}{2}$ ist.

d. h. die Nutzarbeit ist am grössten, wenn die elektromotorische Gegenkraft gleich ist der Hälfte der elektromotorischen Kraft der Stromquelle.

Für diesen Fall ist aber

$$i = \frac{E - \frac{E}{2}}{W} = \frac{E}{2\,W} = \frac{J}{2};$$

d. h. die Nutzarbeit ist am grössten, wenn die wirksame Stromstärke halb so gross ist als diejenige des Stromes, welcher besteht, wenn der Elektromotor in Ruhe ist.

Für denselben Fall ist ferner

$$N = ei = \frac{E}{2}\,i = \frac{T}{2}$$

d. h. die Nutzarbeit ist im Falle des Maximums gleich der Hälfte der Gesammtarbeit.[1])

Sehr belehrend ist die graphische Darstellung der gewonnenen Resultate; dieselbe gestaltet sich, wenn die elektromotorischen Kräfte als Abscissen abgetragen werden, folgendermaassen (Fig. 221).

Fig. 221.



[1]) Wären zwei magnet-elektrische Maschinen gleicher Construction und Grösse mit einander verbunden, so wäre ferner nach §. 55

$$G = \frac{N}{G} = \frac{e}{E} = \frac{v}{V},$$

unter v und V die Tourenzahl der beiden Maschinen verstanden. Die Seite 592 mitgetheilten Resultate weisen aber darauf hin, dass der Nutzeffect unmöglich dem Verhältnisse der Geschwindigkeiten in der Praxis gleich sein kann, da die Geschwindigkeit der secundären Maschine bis zu der Differenz der Geschwindigkeit der primären Maschine und den todten Touren ansteigen kann; zunächst sei darauf hingewiesen, dass bei den theoretischen Entwicklungen die den Maschinen eigenthümlichen

$$T = \frac{E - e}{W} \cdot E$$

ist die Gleichung einer geraden Linie $ES'M$.

$$N = \frac{E - e}{W} \cdot e$$

ist die Gleichung einer Parabel OSE, welche ihr Maximum bei $e = \frac{E}{2}$ erreicht. Da die Gesammtarbeit nur grösser als die Nutzarbeit sein kann, die beiden aber für den Fall $e = E$ gleich wären, so versteht man, dass die Grade $ES'M$ eine Tangente der Parabel ESO ist. — Für $e = \frac{E}{2}$ ist die Nutzarbeit AS die Hälfte von AS', der Gesammtarbeit.

$$G = \frac{e}{E}$$

ist die Gleichung einer geraden Linie Om; $Em = 1$. Aus der Figur ist ersichtlich, dass der Nutzeffect = ½ ist, wenn die Nutzarbeit ihr Maximum erreicht.

$$i = \frac{E - e}{W}$$

ist die Gleichung einer Geraden ED, für welche $OD = \frac{E}{W} = J$ ist.

Wie nun, wenn die Bedingung für das Maximum der Nutzarbeit nicht befriedigt wird? Die Figur zeigt, dass bei $e < \frac{E}{2}$ die Leistungsfähigkeit abnimmt, die Gesammtarbeit und Intensität aber zunehmen. Hingegen nimmt für $e > \frac{E}{2}$ die Leistungsfähigkeit zu, während die anderen Grössen

Reibungswiderstände gar nicht beachtet worden sind, sodann dass im Eisen der Inductoren *Foucault*'sche Ströme entstehen, welche von grossem Einflusse sind. In wiefern dieses der Fall ist, möge der Leser aus der scharfsinnigen Abhandlung *Frölich's* ersehen, welche Abth. VI zum Theil schon mitgetheilt wurde, in der E.-Z. aber ganz zu finden ist.

abnehmen. Will man sich daher annähernd in die Lage des Maximums versetzen, so muss man die günstige Seite zu erreichen suchen, was in der Praxis keine Schwierigkeit bietet. (Vgl. *Niaudet* l. c. p. 94.)

142. Die im vorigen Paragraphen abgeleiteten Lehrsätze gelten auch für den Fall, dass in dem Stromkreise eine elektrochemische Arbeit geleistet wird. Selbst dann, wenn mehrere Bäder parallel oder hintereinander geschaltet werden, gilt die Regel:

Die Summe der durch die Polarisation in den Bädern erregten elektromotorischen Gegenkräfte soll gleich sein der Hälfte der elektromotorischen Kraft der Stromquelle u. s. w., wenn die Nutzarbeit eine maximale sein soll.

In der Praxis ist dahin zu streben, dass man dem Maximum von der günstigen Seite her nahe kommt.

143. Schliesslich fragt es sich, ob die Lehrsätze auch bei der Erzeugung des elektrischen Lichtes gültig sind. Der *Volta*'sche Lichtbogen bietet nämlich nicht nur gleich einem gewöhnlichen Leiter einen Widerstand dar, entwickelt vielmehr nebenbei noch eine elektromotorische Gegenkraft.

Sollte es zutreffen, dass der besondere Leitungswiderstand des Lichtbogens unbedeutend ist und vernachlässigt werden darf, so blieb nur noch die elektromotorische Kraft des Bogens zu beachten. Bei dieser Annahme, sowie derjenigen, dass die Stromstärke J sei, wenn die beiden Kohlen einander berühren, i hingegen dann, wenn der Lichtbogen die normale Weite erlangt hat, ist der Satz annähernd richtig:

Das Maximum der Nutzarbeit im Lichtbogen wird erfüllt sein, wenn die Intensität J durch die Existenz des Bogens um die Hälfte verringert wird, oder aber, wenn die elektromotorische Kraft des Bogens halb so gross ist als diejenige der Stromquelle.

In der Praxis ist darauf zu sehen, dass die Stromstärke eher geringer bezw. die elektromotorische Kraft eher grösser als wie vorhin angegeben ist.

Correcter scheint das Verfahren zu sein, nach dem man die elektromotorische Kraft des Lichtbogens durch einen gleichartigen Widerstand ersetzt, welcher die Stromstärke J in derselben Weise schwächt, wie dieses die elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens thut. Kann eine solche Substitution im gegebenen Falle mit Genauigkeit erfolgen, so lässt sich die Regel von den gleichen Widerständen (§. 136) anwenden. So weiss man z. B., dass der *Volta*'sche Lichtbogen von 4mm Länge in der Leitung einer gewöhnlichen *Gramme*'schen Maschine, von 0,92 *Ohms* Gesammtwiderstand, durch einen Kupferdraht von 1,44 *Ohms* Widerstand ersetzt werden kann. Hat daher der äussere Leiter einen Widerstand von 0,25 *Ohms*, welcher dem eines 100m langen Kupferdrahtes von 3mm Dicke entspricht, so beträgt die Summe 0,92 + 0,25 = 1,17 etwas weniger als 1,44; man arbeitet also in diesem Falle nicht genau unter den Bedingungen des Maximums, aber immerhin unter ungefähr nahekommenden Verhältnissen und weicht nach der günstigen Seite hin ab.

144. Wir unterlassen nicht, daran zu erinnern, dass die Entwicklungen der §§. 136 und ff. nur für den Fall richtig sind, dass die Stromquelle eine constante elektromotorische Kraft besitzt, also eine constante Batterie oder eine gleichmässig betriebene magnet-elektrische Maschine ist. Stets wurde nämlich E als eine constante Grösse betrachtet. Dieses trifft aber bei dynamo-elektrischen Maschinen nicht zu; bei den letzteren hat vielmehr eine Verminderung der Intensität J durch die in dem Elektromotor, den Bädern und dem Lichtbogen thätige elektromotorische Gegenkraft auch eine Verminderung der Kraft E zur Folge. Wir sind jedoch in der glücklichen Lage, dem Leser auch eine Theorie

bezüglich der dynamo-elektrischen Maschinen bieten zu können; eben in jüngster Zeit (am 19. September 1881) legte *Sir William Thomson* der Pariser Akademie der Wissenschaften eine höchst interessante Abhandlung vor über die relativen Widerstände, welche man bei den dynamo-elektrischen Maschinen den Ankern, den Elektromagneten und dem äusseren Stromkreise geben muss. Wir lassen dieselbe zum Schlusse des Werkes so folgen, wie dieselbe in der Z. f. a. E. 1881, p. 411, gegeben wurde:

„In dem inducirenden Magnete sei

L die Länge des Drahtes,

B das Volumen des Drahtes sammt Isolirung,

n das Verhältniss dieses Totalvolumens zum Volumen des Kupfers allein (d. h. $\frac{1}{n} B$ = Volumen des Kupfers),

A der Totalquerschnitt des Drahtes,

R der Widerstand des Drahtes.

Dieselben Grössen des inducirten Ankers mögen der Reihe nach bezeichnet werden durch L', B', n', A', R'. Ferner sei s der specifische Widerstand des Kupfers.

Alsdann existiren die Bezeichnungen:

$$B = AL$$

$$R = ns\frac{L}{A} = ns\frac{B}{A^2}.$$

Daher
$$A = \frac{\sqrt{nsB}}{\sqrt{R}} = \frac{K}{\sqrt{R}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1$$

sowie
$$A' = \frac{\sqrt{n's'B'}}{\sqrt{R'}} = \frac{K'}{\sqrt{R'}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2$$

In diesen Gleichungen bezeichnen K und K' Constanten.

Sei nun c die Stromstärke im inducirenden Magnet, c' die Stromstärke im Anker, v die Geschwindigkeit eines beliebigen Punctes des Ankers und p die mittlere elektro-

motorische Kraft an beiden Enden des Ankerdrahtes, so haben wir die Gleichung:

$$p = J \frac{c}{A} \cdot \frac{1}{A'} v \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3$$

Hierin bezeichnet J einen Coëfficienten, der von den Formen, Dimensionen, den relativen Lagen von B und B' sowie ausserdem von der magnetischen Capacität des Eisens abhängig ist; J nimmt mit jener Capacität ab bei Zunahme der Stromstärke und weiter bei Aenderungen von R und R', welche die Kraft der Magnetisirung vermehren.

Bei der dynamo-elektrischen Maschine mit einfachem Stromkreise[1]) ist $c' = c$. Dies ist nicht der Fall bei dynamo-elektrischen Maschinen mit Derivation.[2]) In beiden Fällen beträgt das mechanische Aequivalent der geleisteten elektrischen Arbeit pc'. Oder nach Gl. 3

$$J \frac{cc'}{AA'} v \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4$$

Oder nach Gl. 1 und 2

$$\frac{J\sqrt{RR'}\,cc'v}{KK'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5$$

Von dieser Totalarbeit geht ein Theil verloren auf die Erwärmung der Spuldrähte; der andere wird im äusseren Stromkreise nutzbar gemacht. Ihre respectiven Werthe sind:

$$Rc^2 + R'c'^2 \text{ für die verlorene Arbeit } \ldots\ldots (6$$

und $$\frac{J\sqrt{RR'}\,cc'v}{KK'} - (Rc^2 + R'c'^2) \text{ für die Nutzarbeit.} \quad (7$$

Wenn man v sehr gross macht, so kann man das Verhältniss von 6 und 7, nämlich Verlustarbeit durch Nutzarbeit, so klein gestalten als man will. Das zu lösende Problem besteht darin, zu bestimmen, welche relativen Werthe man R und R' geben muss, um bei einer beliebigen gegebenen

[1]) Siehe Fig. 96, p. 191.

[2]) Siehe Fig. 187, p. 496.

Geschwindigkeit das Verhältniss der Verlustarbeit zur Nutzarbeit zu einem Minimum zu machen, oder, was dasselbe sagt, um, wenn jenes Verhältniss gegeben ist, die Geschwindigkeit zu einem Minimum zu machen. Um diese Frage zu lösen, nennen wir r das Verhältniss der Totalarbeit zur Verlustarbeit. Wir haben dann nach 5 und 6 die Beziehung:

$$r = \frac{J\sqrt{RR'cc'}}{Rc^2 + R'c'^2} \cdot \frac{v}{KK'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (8$$

Für die einfache dynamo-elektrische Maschine haben wir $c' = c$, und 8 geht über in die Form:

$$r = \frac{J\sqrt{RR'}}{R + R'} \cdot \frac{v}{KK'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9$$

oder
$$r = \frac{J\sqrt{R(S-R)}\,v}{SKK'}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10$$

wenn $S = R + R'$ gesetzt wird. ... (11

Nehmen wir nun an, dass S gegeben und J für einen Augenblick constant sei. Damit nun r ein Maximum wird für ein gegebenes v, oder v Minimum für ein gegebenes r, muss $R(S-R)$ ein Maximum sein. Dieses findet statt, sobald $R = \frac{1}{2}S$ ist, d. h. wenn der Widerstand des Ankers gleich dem Widerstande des Magnets ist. Aber thatsächlich ist J nicht constant, sondern J nimmt ab mit zunehmender Magnetisirungskraft. Im Allgemeinen hängt J hauptsächlich von dem weichen Eisen des inducirenden Elektromagnets, verhältnissmässig wenig dagegen von dem Eisen des inducirten Ankers ab. In den meisten Fällen wird J mit wachsendem R und abnehmendem R' abnehmen. Folglich erfordert das Maximum von $\frac{r}{v}$ nach der Formel 10, dass R' grösser als $\frac{1}{2}S$ sei. Das Verhältniss von R' zu $\frac{1}{2}S$ können wir aus der Formel nicht ableiten, ohne das Gesetz der Variationen von J zu kennen.

Durch Experimente sowie durch das praktische Gefühl

liess man sich bei den meisten dynamo-elektrischen Maschinen, welche man gegenwärtig construirt, bestimmen, dem inducirenden Elektromagneten einen etwas geringeren Widerstand zu geben, als derjenige des inducirten Ankers beträgt, was mit der vorhin abgeleiteten Theorie in Uebereinstimmung steht.

Da die Nutzarbeit einer dynamo-elektrischen Maschine sich unter der Form von Licht, mechanischer Arbeit, Wärme oder elektrolytischer Arbeit darstellt, können wir der Einfachheit halber für alle diese möglichen Fälle den typischen Fall setzen, wobei die Klemmen der Maschine durch einen Leiter vom Widerstande E verbunden sind. Dem allgemeinen Gebrauche folgend nenne ich diesen Leiter den äusseren Stromkreis, ein Ausdruck, der kurz diejenige Partie des ganzen Leitungskreises bezeichnet, welche sich ausserhalb der dynamo-elektrischen Maschine befindet. Haben wir eine dynamo-elektrische Maschine mit einfachem Stromkreise, so ist die Stromstärke im äusseren Stromkreise gleich derjenigen (c'), welche den Anker durchfliesst.

Nach dem *Ohm*'schen Gesetze existirt dann die Beziehung:

$$c' = \frac{p}{E + R + R'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12$$

Aber nach der Gleichung 5 ist

$$c' = c\,\frac{J\sqrt{RR'}\,v}{KK'(E + R + R')} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13$$

Setzt man nun $$c' = c \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14$$

so ist $$J = \frac{KK'(E + R + R')}{\sqrt{RR'}\,v} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15$$

Der Fall, wobei $c' = 0$ ist, ist derjenige, wo stattfindet:

$$v < \frac{KK'(E + R + R')}{J_0\sqrt{RR'}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (16$$

wenn wir mit J_0 den Werth von J bezeichnen, für den $c' = 0$ ist. Um dies einzusehen, erinnern wir uns, dass wir gar keinen remanenten Magnetismus voraussetzen. Für alle Geschwindigkeiten, welche der Gleichung 16 entsprechen, wird

gar kein Strom erzeugt. Sobald jedoch diese Grenze überschritten wird, ist das elektrische Gleichgewicht des Stromkreises labil. Jeder geringste Strom, welcher in der Maschine dann in dem einen oder anderen Sinne durch irgend welche Einflüsse angeregt wird, wird schnell zu seinem durch die Gleichung 15 bestimmten Grenzwerth anwachsen in Folge der Verminderung von J, welches mit seinem Anwachsen zusammentrifft. Betrachten wir J daher als eine Function von c, so haben wir in Gl. 15 den mathematischen Ausdruck des Stromes, welcher von der dynamo-elektrischen Maschine im Beharrungszustande hervorgebracht wird. Setzen wir Gl. 15 in Gl. 9 ein, so erhalten wir:

$$r = \frac{E + S}{S}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (17$$

eine Gleichung, welche, wie bekannt, vor 40 Jahren von *Joule* aufgestellt wurde.

In der dynamo-elektrischen Maschine mit Derivation theilt sich der in dem Anker erzeugte Strom c' in zwei Ströme, c im inducirenden Elektromagneten und $(c' - c)$ im äusseren Stromkreise; die Stromstärken sind den Widerständen, welche sie durchlaufen, umgekehrt proportional. Indem man daher stets den Widerstand des äusseren Stromes E nennt, hat man die Beziehung:

$$cR = (c' - c)\,E,$$

woraus sich ergibt:

$$c = \frac{E}{R + E}\,c'. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (18$$

Es beträgt daher nach dem *Joule*'schen Gesetze die in den drei Theilen des Stromkreises in der Zeiteinheit geleistete Arbeit:

$$\left.\begin{array}{ll} R'c'^2 & \text{für den Anker} \\ R\left(\dfrac{E}{R + E}\right)^2 c'^2 & \text{für den inducirenden Elektromagnet} \\ E\left(\dfrac{R}{R + E}\right)^2 c'^2 & \text{für den äusseren Stromkreis} \end{array}\right\} \quad (19$$

Hieraus folgt, wenn man mit r das Verhältniss der Totalarbeit zur Nutzarbeit bezeichnet:

$$r = \frac{R' + R\left(\frac{E}{R+E}\right)^2 + E\left(\frac{R}{R+E}\right)^2}{E\left(\frac{R}{R+E}\right)^2} \quad \ldots\ldots (20$$

Hieraus folgt

$$R^2 r = R'\frac{(R+E)^2}{E} + R(R+E)$$

$$R^2 r = \frac{R'R^2}{E} + (R + R')E + R(2R' + R) \ \ldots (21$$

Nehmen wir jetzt an, dass R und R' gegeben seien, und E gesucht würde. Damit r ein Minimum wird, muss stattfinden:

$$E = \sqrt{\frac{R'R^2}{R+R'}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (22$$

Man hat daher

$$r = 2\sqrt{\frac{R'(R+R')}{R^2}} + \frac{2R'+R}{R} \quad \ldots\ldots\ldots (23$$

Setzen wir nun $$\frac{R'}{R} = e, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (24$$

so gehen die Gleichungen 22 und 23 über in die Form:

$$E = \sqrt{\frac{RR'}{1+e}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (25$$

und $$r = 1 + 2\sqrt{e(1+e)} + 2e \quad \ldots\ldots\ldots (26$$

Im Interesse der Oekonomie muss r der Einheit möglichst nahe kommen, folglich muss e sehr klein sein. Der Schliessungsbogen beträgt sonach annähernd:

$$\left.\begin{array}{l} E = \sqrt{RR'} \\ r = 1 + 2\sqrt{e} \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (27$$

Nehmen wir z. B. an, dass der Widerstand des inducirenden Elektromagneten dass 400fache des Widerstandes

des inducirten Ankers betrage, d. h. dass $e = 400$ ist, so haben wir annähernd

$$E = 20R' \text{ und } r = 1 + \frac{1}{10};$$

d. h., dass der Widerstand des äusseren Stromkreises das 20fache desjenigen des Ankers, und dass die Nutzbarkeit im äusseren Schliessungskreise etwa $\frac{10}{11}$ der durch die Erwärmung der Drähte im Innern der Maschine verloren gehenden Arbeit beträgt.“

Namen-Verzeichniss.[1])

Adams, 469.
Allard, Glanz des el. Lichtes, 299.
l'Alliance, magnet-el. Maschinen der Gesellschaft, 61.
Ampère, Solenoid, 10; elektrodynamische Gesetze, 13; 25.
Andrew, el. Lampe, 457.
Archereau, 389.
Auerbach, Versuche mit dynamo-el. Maschinen, 264.
Ayrton-Perry, Widerstand des Lichtbogens, 291.
Baur, dynamo-el. Maschine, 115.
Becker, Unkosten des el. Lichtes, 563.
Becquerel, Temperatur des Lichtbogens, 282; Unkosten des el. Lichtes, 555.
Bell, E, Telephon, 28.
Bohm, 389.
Bouliguine, Glühlicht-Lampe, 474.
Brockie, el. Lampe, 443.
Brush, Lichtmaschine, 117; el. Lampe, 415; 496, 534.
Bürgin, G, dynamo-el. Maschine, 215; el. Lampe 367, 403.
Burstyn, elektromotorische Kraft des Lichtbogens, 288; Schaltung zweier Masch. auf Quantität, 510.
Cardew, Bremsung der Eisenbahnzüge, 617.
Carré, Herstellung der Kohlenstäbe, 311, 389.
de Changy, Theil. des el. Lichtes, 396.
Chatham, Militär-Ingenieurschule. Versuche mit verschiedenen Lichtmaschinen, 161, 196, 341.
Chertemps, 389.
Chrétien-Felix, 600.
Clark, magnet-el. Maschine, 59.
Cohn, Wirkung des el. Lichtes auf das menschliche Auge, 553.
Crompton, G, Helligkeitsgrade, 30[illegible]8; el. Lampe, 362, 401; Kabel 49[illegible]9; Einzel-Lichter, 510; 534.
Curmer, Herstellung der Kohlenstäbe, 310.
Davy, Volta'scher Lichtbogen, 28[illegible]3; Holzkohlen, 309.
Deleuil, Kohlenstäbe, 311; Theilung des el. Lichtes, 391.
Deprez, E, magnet-el. Maschine, 7[illegible]79; Länge des Lichtbogens, 283; [illegible] 52.
Douglass, vergleichende Versuche mit Lichtmaschinen, 331.
Dornfeld, el. Lampe, 380 (Krupp's Patent).
Dubos, 389.
Duboscq & Foucault, G, el. Lampe, 347.
Edison, E, Glühl.-Lampe, 476, 5[illegible]45.
Edlund, elektromotorische Kraft des Lichtbogens, 476.
Faraday, Inductions-Erscheinungen, 18.
Faure, secundäres Element, 629.
Fein, dynamo-el. Maschine, 163.
Fitzgerald, dynamo-el. Masch., 175.
Fizeau, Intensität des el. Lichtes, 299.
Fontaine, zur el. Beleuchtung, 297, 304, 312, 326, 464, 523, 556, 567; el. Lampe, 407; zur el. Kraftübertragung, 592.
Foucault, Ströme, 160; Intensität des el. Lichtes, 299; Retortenkohle, 309; el. Lampe, 347.
Fox, Glühlicht-Lampe, 486.
Franklin-Institut, Versuche mit Lichtmaschinen, 343.
Fresnel, Lampe für Leuchtth., 299.
Frölich, D, Versuche mit dynamo-el. Maschinen, 251 u. ff., 52.
Fuhr, 389.

[1]) Die den Namen beigefügten Buchstaben E, D, bz. G bezeichnen, dass demselben ein für industrielle Etablissements und Erfinder bestimmtes Ehrendiplom, ein Diplom der Mitwirkung oder eine goldene Medaille von der Jury der Elektricitäts-Ausstellung zu Paris zuerkannt wurde; die vollständige Liste der Prämie vgl. Z. f. a. E., 422, 445.

ŀ, Kohlenstäbe, 311, 389.
389.
, Kohlenstäbe, 311.
, Solenoid u. Magnet, 12, 24.
t, 620.
!, 389.
osten des el. Lichtes, 567.
, E, Theorie des G. Ringes,
struction des G. Ringes, 130;
ts-Maschinen, 134 u. ff.;
o-el. Maschinen für galvano-
che Zwecke, 141 und ff.;
ıaschinen, 146 u. ff.; Ma-
ı für die el. Uebertragung
raft, 155; Wechselstrom-
.ne, 233; el. Lampe für ge-
ı Licht, 409; Strombrecher,
'97, 510, 521, 574.
G, el. Lampe, 436.
ch, Versuche mit dynamo-
chinen, 218, 260, 324, 369.
ı, 389.
r-Alteneck, G, neueste dy-
l. Maschine für continuir-
tröme, 219; siehe *Siemens-*
e.
n, Kosten d. el. Lichtes, 561.
s, canalisirte Ringanker,
l. Lampe, 459.
.
, 52.
magnet-el. Maschine, 67.
39, 428.
coff, Kerze, 445; Glühlicht
t Inductionsrollen, 488;
ationen, Kerzenhalter und
tischer Commutator, 535.
in, Kohlenstäbe, 310.
Blättermagnet, 139; el.
450; 392.
G, el. Lampe, 376.
ingelampe, 467.
esetze, 470, 514.
Lodyguine, Glühlicht-
, 473.
st, Verwend. der Maschinen
graphischen Zwecken, 588.
Glühlicht-Lampe, 474.
G, Eisenstäbe, 16; Stab-
433.
ger, 389.
389.
389.
gne u. *Thiers*, Kohlenstäbe,
tromverzweigung, 395; 380.

Ladd, Umwandlung der mechanischen Kraft, 87; zweicylindrige dynamo-el. Maschine, 103.
Langen, Kosten des el. Lichtes, 565.
Lenz, Inductionsgesetz, 22.
Leroux, elektromotorische Kraft des Lichtbogens, 288.
Levy, Kosten des el. Lichtes, 569.
Lodyguine, Glühlicht-Lampe, 473.
Lontin, magnet- und dynamo-el. Maschine, 212; Wechselstrom-Maschine, 228; Nebenschluss-Lampe, 400; Glühlicht-Lampe, 472; 227.
Mackenzie, 389.
van Malderen, die Alliance-Maschine, 62.
Marcus, Glühlicht-Lampe, 465.
Marcus & Egger, 428.
Maxim, dynamo-el. Maschinen, 204; Glühlicht-Lampe, 485; Stromregulator, 508; 389; 545.
Menges, 389.
de Méritens, G, magnet-el. Maschine, 81.
Mersanne, Theilbarkeit des el. Lichtes, 393; el. Lampe, 405.
Meyer, Versuche mit Lichtmaschinen, 264.
Million, 389.
Möhring, dynamo-el. Maschine, 115; siehe Weston; 533.
le Molt und *Archereau*, Kohlenstäbe, 311; 389.
du Moncel, die magnet-el. Maschine von *de Méritens*, 82.
Morton, Versuche mit Lichtmaschinen, 344; die *Maxim*'sche Glühlicht-Lampe, 486.
Niaudet, magnet-el. Maschine, 206; mathemat. Entwicklungen, 633.
Nollet, die *Alliance*-Maschine, 62.
Obach, 52.
Pacinotti, E, Ring-Maschine, 121.
Piette, G, Stablampe, 433.
Pixii, magnet-el. Maschine, 55.
Planté, E, secund. Element, 621.
Preece, 573; mathematische Entwicklungen, 633.
Quirini, Theilbarkeit des el. Lichtes, 390.
Rafford, 139.
Rapieff, el. Lampe, 459.
Reynier, Kohlenstäbe, 317; Glühlicht-Lampe, 462.
Ritter, 621.

le Roux, Wirkung der *Alliance*-Maschine, 64; Erzeugung des el. Lichtes, 293; Unbeständigkeit des el. Lichtes, 309; Theilbarkeit des el. Lichtes, 392; Kosten des el. Lichtes, 557.
Rosetti, Temp. des Lichtbogens, 282.
Ruhmkorff, 108.
Sautter-Lemonnier, G, Versuche mit *Carré*'schen Kohlen, 317; Handlampe, 521.
Sawyer, Glühlicht-Lampe, 487; Umschalter, 503.
Saxton, magnet-el. Maschine, 59.
Scharnweber, 389.
Schübeler, Wachsthum der Pflanzen in arktischen Regionen, 553.
Schuckert, dynamo-el. Flachring-Maschinen, 166 u. ff.; Nebenlampe, 387; Differential-Ringlampe, 431; 534, 585.
Schulze, 389.
Schwendler, Widerstand des Lichtbogens, 291; neue Maasseinheit für Lichtmessungen, 296; Verwendung der el. Maschinen zu telegraphischen Zwecken, 587.
Sedlaczek, 389.
Serrin, G, el. Lampe, 354; Nebenschluss-Lampe, 400.
Siemens-Halske, E, Läute-Inductor und Minenzünder, 99; zweicylindrige dynamo-el. Maschine, 110; magnet- u. dynamo-el. Trommelmaschinen (System *v. Hefner-Alteneck*), 176; für den Kleinbetrieb, 184; für den Grossbetrieb, 190, für Rein-Metallgewinnung, 197; Wechselstrommaschine, 242; el. Lampe (System *v. Hefner-Alteneck*), 369; Nebenlampe, 385; Diff.-Lampe (System *v. Hefner-Alteneck*) 421; selbstthätiger Umschalter, 501; Installation des Anhalter Bahnhofes, 524; el. Eisenbahn, 603; el. Aufzug 612; 165, 297, 496, 574, 583, 585.
Siemens, Werner, Dr., E, Inductor, 68; Läute-Inductor, 71; Princip der dynamo-el. Maschinen, 87; dynamo-el. Maschine, 96; Leitungsfähigkeit der Kohlen, 291; el. Eisenbahn, 607; el. Aufzug, 398; siehe *Siemens-Halske,* 612.
Siemens, William, erwärmende Wirkung des Gases, 551; Wachsthum der Pflanzen bei el. Lichte, 552; Apparat zum Schmelzen von Eisen und Platin, 576; Beschaffenheit der Kabel bei der el. Kraftübertragung, 595.
Staite-Edwards, Kohlenstäbe, 311, el. Lampe, 458.
Staite-Petri, Kohlenstäbe, 311.
Stöhrer, magnet-el. Maschine, 59.
Swan, Glühlicht-Lampe, 483; Kosten des Glühlichtes, 569.
Talleyrand, 389.
Tchikoleff, el. Lampe, 429.
Thiers, Stromverzweigung, 395.
Thomson-Houston, Widerstand des Lichtbogens, 291; Kabel bei der el. Kraftübertragung, 596; 389.
Thomson, W., E, Widerstand des Lichtbogens, 291; mathematische Entwicklungen, 633.
Tissandier, el. Luftballon, 632.
Tresca, G, photometr. Messungen, 297; Verhältniss zwischen Arbeits-Aufwand und Lichtstärke, 321.
Trouvé, Abänderung des *Siemens*'schen Inductors, 201; el. Kahn, 632.
Trowtridge, 52.
Tyndall, vergleichende Versuche mit Lichtmaschinen, 331.
Uppenborn, die Maschine von *Fitzgerald,* 176; die Gefährlichkeit des el. Lichtes, 571: 52; 432.
Varley, Glühlicht mittelst Inductionsrollen, 488.
Volta, Lichtbogen, 278, 282.
Wallace-Farmer, Lichtmaschine, 209; 389.
Wartmann, Unterbrechung des Lichtbogens, 287.
Way, 389.
Werdermann, Versuche mit Kohlen ungleichen Querschnittes, 461: Glühlicht-Lampe, 466.
Weston, dynamo-el. Maschine, 111: Lichtmaschine, 197; el. Lampe, 412: Strombrecher, 581.
Wheatstone, Vortrag über das dynamo-el. Princip, 93.
Wikulill, 389.
Wilde, magnet-el. Masch., 73, 586.
Wiley, Studien über Kohlen, 318.



